



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikainstituut

**Allan Tooming**

**MATERJALIDE LÕIKETUGEVUSE ANALÜSAATORI JUHTKONTROLLER**

**DRIVER-CONTROLLER FOR MATERIALS CUTTING FORCE ANALYZER**

Magistritöö  
Energiakasutuse õppekava

Juhendaja: dotsent Eugen Kokin, *DSc*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Allan Tooming		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Materjalide lõiketugevuse analüsaatori juhtkontroller			
Lehekülgi: 50	Jooniseid: 53	Tabeleid: 1	Lisasid: 2
<p>Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17. Energeetikaalased uuringud; T140 Energeetika</p> <p>Juhendaja(d): Eugen Kokin, DSc</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2019</p>			
<p>Eesti Maaülikooli teadlased on välja töötanud laialt levinud lihatoodete lõiketugevuse määramise <i>Warner-Bratzler</i> meetodile alternatiivse gravitatsioonilise impulssmeetodi (<i>GIM</i>). <i>GIM</i> meetod on uudne ja lõppkasutajatele mõeldud lahendused on välja arendamata.</p> <p>Antud magistritöö eesmärgiks oli luua liha lõiketugevuse analüsaatori juhtkontroller, mis võimaldaks mõõta testitava teimi läbimiseks kulunud jõuimpulssi. Loodud kontrolleri lahendus baseerub jõuanduri analoogsignaali digitaalseks muutmisel sisend-väljund moodulile ja saadud andemete analüüsimise ja kasutajale kuvamise tarkvarale. Sisend-väljundmooduliks kasutati tootja <i>National Instruments (NI) USB-6008</i> moodulit ja tarkvara loodi <i>LabVIEW</i> visuaalses programmeerimise keskkonnas.</p> <p>Töö tulemusena valmis toimiv lahendus, mis mõõdab testitava teimi läbimiseks kulunud jõuimpulssi. Koostatud lõiketugevuse analüsaatori juhtkontrolleri abiga on võimalik lihatööstustel hinnata töödeldava materjali lõiketugevust ja tagada toodete kvaliteeti.</p>			
Märksõnad: <i>Warner-Bratzler</i> meetod, Gravitatsioonilise impulssmeetod, liha, Impulss, <i>LabVIEW</i> tarkvara.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Allan Tooming		Curriculum: Energy Application Engineering	
Title: <i>Driver-Controller for Materials Cutting Force Analyzer</i>			
Pages: 50	Figures: 53	Tables: 1	Appendixes: 2
<p>Sciences of Estonian University of Life scientists have developed meat shear energy evaluation method alternative for commonly used <i>Warner-Bratzler</i> method (gravitational impulse method - GIM). GIM is a new way to evaluation of meat shear energy, because this method don't have any ready solutions for end users. The aim of this Master's thesis was to create the driver-controller for meat cutting force analyzer, that could measure meat cutting force impulse. Created controller is based on analog-digital converter and data analyzing and user interface software for PC. For the controller the <i>National Instruments (NI) USB-6008</i> DAQ module was chosen and for software the visual programming <i>LabVIEW</i> environment. The result is a working solution and system measuring meat cutting force impulse. With created driver-controller for meat cutting force analyzer the meat industry companies can evaluate the meat cutting impulse in the technological process and achieve the best quality of their products.</p>			
<p>Supervisors: Eugen Kokin, DSc</p> <p>Place and date: Tartu, 2019</p>			
<p>Keywords: <i>Warner-Bratzler</i> Method, Gravitational Impulse Method, Meat, Impulse, <i>LabVIEW</i> software.</p>			

# SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID .....	5
SISSEJUHATUS .....	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	7
1.1. Liha struktuuri määramine .....	7
1.2. Warner-Bratzler meetod .....	7
1.3. Gravitatsiooniline impulssmeetod .....	9
2. METOODIKA.....	11
2.1. Analüsaatori üldine ülevaade .....	11
2.2. Mehaaniline osa .....	12
2.3. Jõusensor.....	15
2.4. Jõusensori signaali võimendi.....	18
2.5. Sisend-väljund moodul .....	19
2.6. Tarkvaralahendus .....	20
2.6.1. LabVIEW tarkvara .....	20
2.6.2. Signaali vastuvõtmine ja filtreerimine.....	21
2.6.3. Testi valimine ja käivitamine .....	23
2.6.4. Signaali töötlemine ja andmemassiivide moodustamine .....	24
2.6.5. Andmete teisendamine .....	26
2.6.6. Andmete olemasolu kontroll.....	28
2.6.7. Graafikualuse pindala arvutamine ja jääkimpulsi leidmine .....	29
2.6.8. Testi andmete kuvamine ja salvestamine .....	31
2.6.9. Törke ahel ja programmi töö lõpetamine .....	34
2.6.10. Kasutajaliides ja kasutusjuhend .....	35
2.6.11. Alam VI-de loomine .....	38
2.6.12. EXE faili loomine .....	39
3. MÕÕTMISED.....	43
3.1. Tunnusjoone määramine .....	43
3.2. Loodud liha lõiketugevuse analüsaatori juhtkontrolleri testimine .....	45
4. Saadud tulemused ja arutelu .....	47
KOKKUVÕTE.....	49
KIRJANDUS.....	50
LISAD.....	52
Lisa 1. Analüsaatori testi andmed salvestatud Excel'i failist .....	53
Lisa 1 järg.....	54
Lisa 2. Lihtlitsents .....	55

## TÄHISED JA LÜHENDID

*DAQ* – *Data Acquisition* (andmehõive);

*EXE* – käivitav fail, millel on *.exe* faililaiend;

*F* – jõud, N;

*g* – raskuskiirendus,  $\text{m/s}^2$ ;

*GIM* – Gravitatsiooniline Impulssmeetod;

*J* – impulss, N·s;

*m* – mass, kg;

*n* – mõõtetulemuste arv;

*t* – aeg, s;

*TI* – *National Instruments*;

*USB* – *Universal Serial Bus* (universaalne järjestikliides);

*WB* – *Warner-Bratzler* meetod;

## SISSEJUHATUS

Toiduainetööstused vajavad lihatoode tootmisprotsesside erinevates etappides töödeldava materjali kvaliteedi hindamist. Üheks lihatoote kvaliteedi hindamise oluliseks parameetrik on liha struktuuri ehk õrnuse määramine. Liha õrnust saab hinnata subjektiivselt maitsemise või visuaalse välimuse hindamise teel. Objektiivse hindamismeetodina saab kasutada lõiketugevuse määramist. Lõiketugevuse määramise enam kasutatud meetod on *Warner-Bratzler* meetod (WB). Alternatiivse lahendusena saab kasutada gravitatsioonilise impulssmeetodiga (GIM) lihatoode lõiketugevuse määramist, mida on uuritud erinevates Eesti Maaülikooli teadustöödes. Antud meetod on uudne ja lõppkasutajatele mõeldud lahendused on välja arendamata.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on välja töötada gravitatsioonilise impulssmeetodiga töötava lihatoode lõiketugevuse analüsaatori juhtkontroller. Väljatöötatav lahendus peab olema võrreldes *Warner-Bratzler* meetodiga soodsam, universaalne, standardne ja mugava kasutajaliidesega

Töös kirjeldatakse maailmas üldtuntud liha lõiketugevuse määramise lahendusi, antakse ülevaade varasematest gravitatsioonilise impulssmeetodiga lihatoode lõiketugevuse määramist puudutavatest teadustöödest, kirjeldatakse loodavat kontrollerilahendust, selle komponente ja tarkvara. Tehakse katsetused ja mõõtmised. Analüüsitakse tulemusi ja antakse soovitusi

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Liha struktuuri määramine

Liha struktuuri ehk õrnuse määramine on lihatööstuse tootmisprotsesside oluline osa. Eriti oluline on liha struktuuri määramine veiseliha puhul. Veiseliha on võrreldes looma ja linnulihaga sitke struktuuriga. Veiseliha sitkus sõltub paljudest teguritest, nagu lihaskimpude arv, looma toitumine, looma liik, vanus ja sugu [1]. Tootmisprotsesside käigus on võimalik liha sitkust muuta. Näiteks laagerduse käigus lihaskude laguneb ja liha muutub pehmemaks ja lõpptoode kvaliteetsemaks [2]. Kvaliteetse toote tagamiseks on liha struktuuri määramine oluline.

Liha õrnust saab hinnata subjektiivselt maitsmise või visuaalse välimuse hindamise teel. Objektiivse hindamismeetodina saab kasutada lõiketugevuse määramist. Lõiketugevuse määramise enam kasutatud meetod on *Warner-Bratzler* meetod [3]. Alternatiivse lahendusena saab kasutada gravitatsioonilise impulssmeetodiga (*GIM*) lihatoodete lõiketugevuse määramist, mida on uuritud erinevates Eesti Maaülikooli teadustöodes. Antud meetod on uudne ja lõppkasutajatele mõeldud lahendused on välja arendamata.

## 1.2. Warner-Bratzler meetod

Maailmas enam kasutatud lõiketugevuse määramise meetodiks on *Warner-Bratzler* meetod. Lõiketugevuse määramine *WB* meetodil seisneb liha lõikamiseks vajaliku jõu dünaamika mõõtmises. Antud meetodi järgi lõigatakse uuritavatest lihatükkidest teimid 1,27cm läbimõõduga [5]. Teimid läbistatakse keskkohast konstantsel kiirusel (200 või 250mm/min) liikuva lõiketeraga [5]. Joonisel 1.1 on näidatud teimi lõikamine.



**Joonis 1.1.** Teimide lõikamine [4].

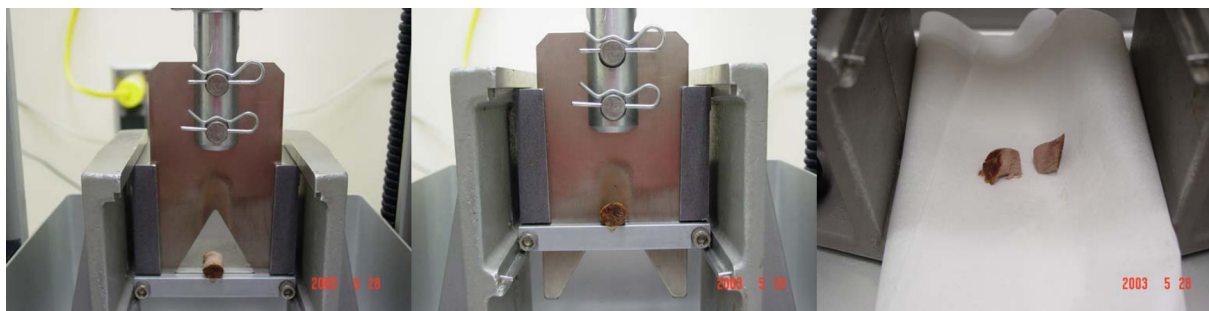
Joonisel 1.2 on näidatud valmis lõigatud teimid.



**Joonis 1.2.** Valmis lõigatud teimid [5].



Joonisel 1.3 on näidatud teimi löiketugevuse määramine *WB* meetodil põhineva seadmega.



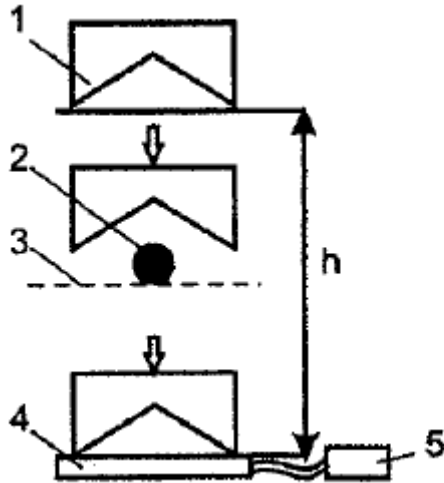
**Joonis 1.3.** Teimi löiketugevuse määramine [5]. Vasakpoolsel pildil kujutatakse tera asendit enne mõõtmise algust. Keskmisel pildil läbib tera teimi. Parempoolsel pildil on näidatud läbistatud teim.

*WB* meetodil toimivad seadmed maksavad palju ja seetõttu on tootjatel huvi odavamal tehnoloogial põhinevate seadmete järgi. Eesti Maaülikooli Tehnotroonika eriala tudengi Ranel Sarapuu poolt läbiviidud uuringus kinnitasid lihatööstuste esindajad, et toodet ollakse nõus soetama, kui toote hind jääb alla 1000 euro [3]. Eeltoodu põhjal on võimalik väita, et gravitatsioonilise impulssmeetodiga lihatoodete löiketugevuse määramisel põhinevate lahenduste arendamine on õigustatud.

### 1.3. Gravitatsiooniline impulssmeetod

Gravitatsioonilise impulssmeetodiga lihatoodete löiketugevuse määramise meetodi on välja töötanud Eesti Maaülikooli teadlased. Antud meetodile esitati ka patenditaotlus, mis avaldati 2015 aastal [6].

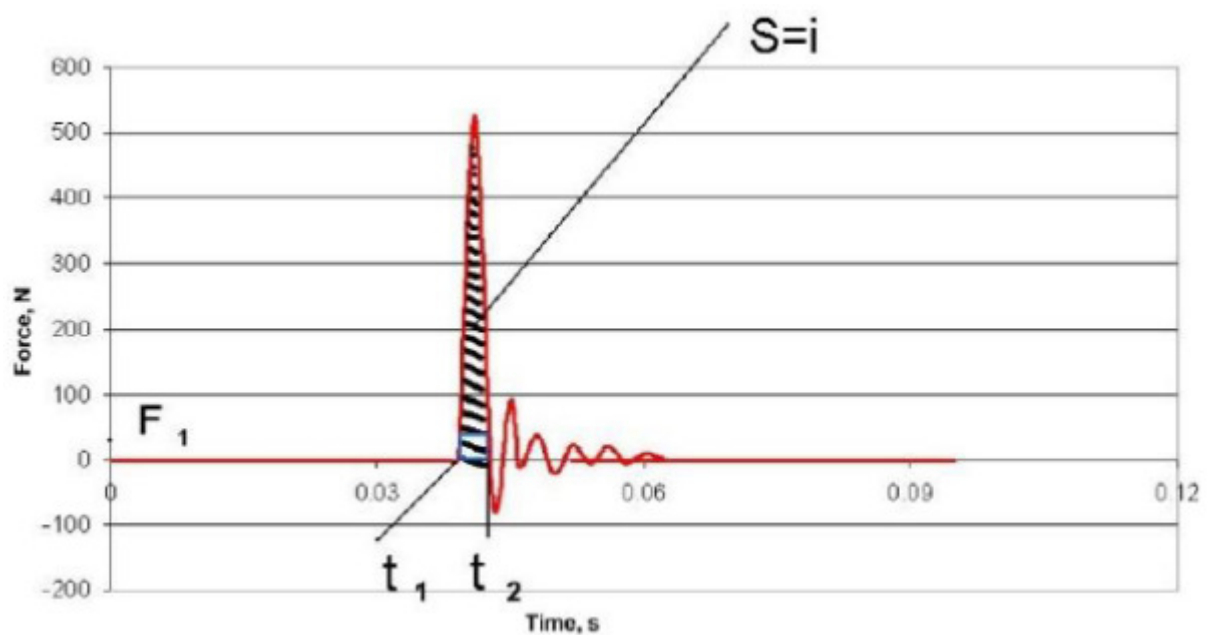
*GIM* meetod seisneb jääkjõu mõõtmisel teimi keskelt läbistava vabalt liikuva tera langemisel jõuandurile. *GIM* meetodi põhimõtteskeem on esitatud joonisel 1.4.



**Joonis 1.4.** *GIM* meetodi põhimõtteskeem [7]. 1 – tera kõrgusel  $h$ , 2 – uuritav teim, 3 – löikealus, 4 – jõuandur, 5 – mõõteseade.

Joonisel 1.4 on toodud *GIM* meetodil põhineva seadme tööpõhimõtte skeem, kus tera (1) langeb vabalt kõrguselt  $h$  ja läbib uuritava teimi (2), mis on paigaldatud fikseeritud alusele (3). Teimi läbides tera kiirus väheneb ja tera langedes jõuandurile on võimalik mõõta jääkjõudu. Saadud andmete põhjal on võimalik arvutada löikeimpulss. [7]

Joonisel 1.5 on näidatud *GIM* meetodil jõusensori poolt registreeritud jõu dünaamika.



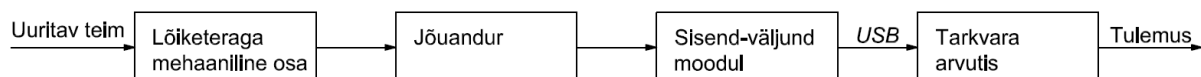
**Joonis 1.5.** Sensori poolt registreeritud jõu dünaamika *GIM* meetodil [8].

Joonisel 1.5 kujutatud graafik väljendab jõusensorile mõjunud jõu muutust ajas. Jõuanduri poolt registreeritud suurim muutus võimaldab arvutada jõu impulsi (arvutades graafikualuse pinna pindala  $S$ ). Lahutades tühitesti impulsi ja teimiga tehtud testil saadud impulsi, saame jääkimpulsi, mis on löikamisele kulunud impulss.

## 2. METOODIKA

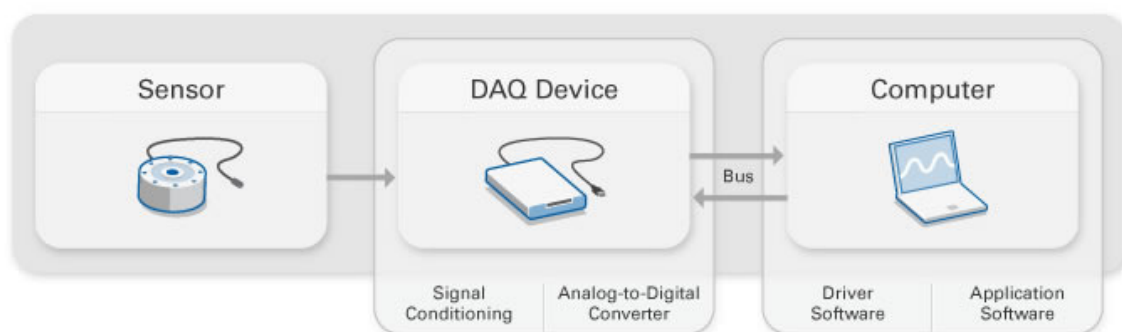
### 2.1. Analüsaatori üldine ülevaade

Materjalide löiketugevuse analüsaator on seade, mis võimaldab kasutajal hinnata lihatoodete struktuuri. Analüsaatori struktuurskeem on esitatud joonisel 2.1.



**Joonis 2.1.** Analüsaatori struktuurskeem.

Seadme mehaanilise osa abil tehakse füüsikalised katsed ja katse tulemusel muudetakse jõudu registreeriva sensori abil elektrilisteks signaaliks. Elektriline signaal sisaldab andmeid mida on vaja analüüsida. Andmete analüüsimiseks peavad mõõteandmed jõudma arvutisse. Selliseid lahendusi märgitakse inglise keelse lühendiga *DAQ*. Lühend *DAQ* on tuletatud inglise keelsest väljendist *Data Acquisition*, mis tähendab tõlkes andmehõivet. Joonisel 2.2 on näidatud *DAQ* süsteemi osad.

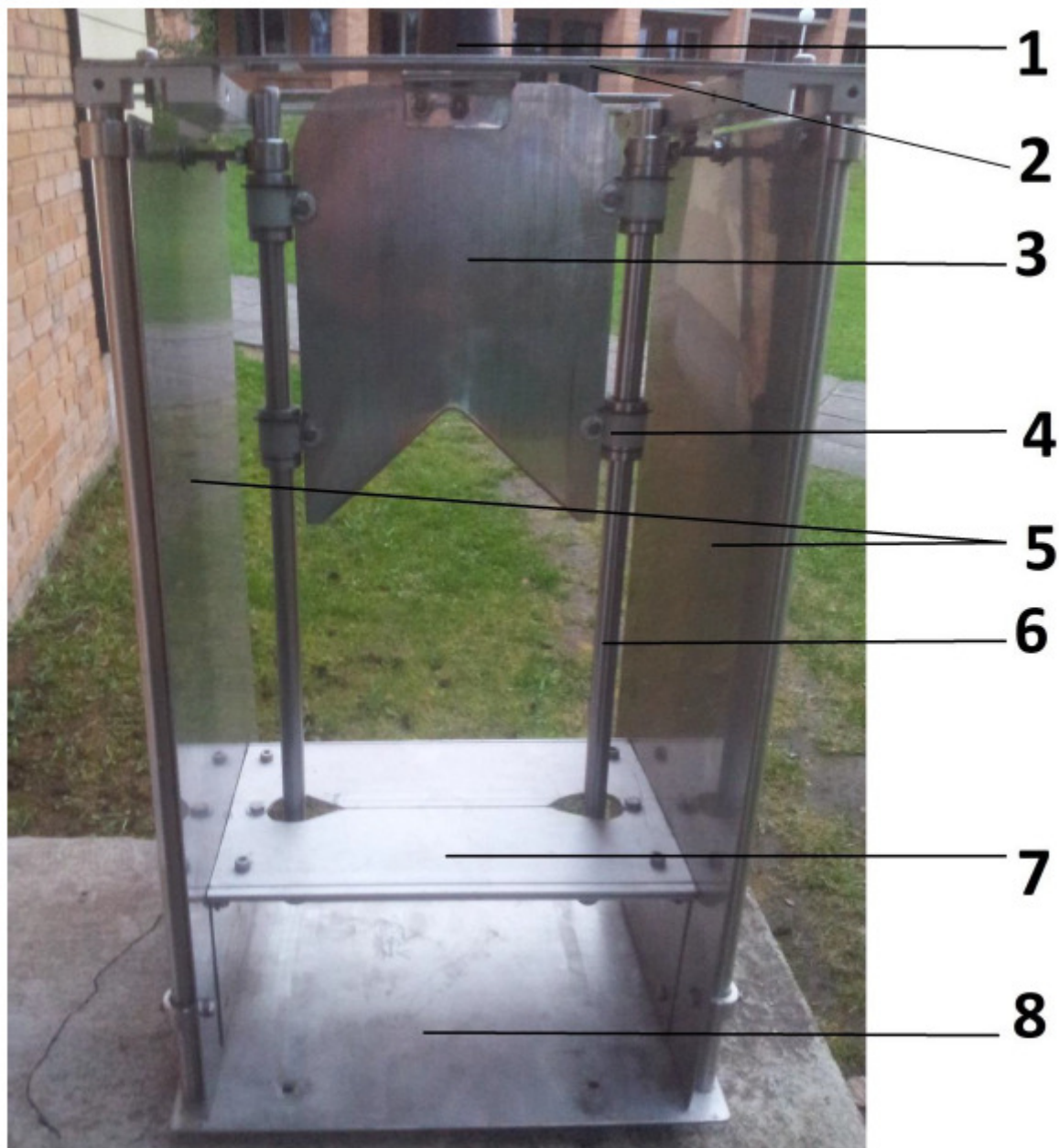


**Joonis 2.2.** *DAQ* mõõtelahenduse ülesehitus [9].

Jõu mõõtmiseks kasutatava sensori poolt väljastatav analoog signaal tuleb teha digitaalseks arvutiga ühendatava spetsiaalse riistvara abil (*DAQ Device/Analog-to-Digital Converter* joonisel 2.2). Sobiva riistvara valikul tuleb arvestada signaali mõõtmise tingimusi nagu: mõõdetava signaali tüüp, mõõtepiirkond, mõõtesagedus, resolutsioon (*DAQ Device/Signal Conditioning* joonisel 2.2). Oluline on veel jälgida, et valitud seadme kasutatav ühendusliides arvutiga on standardne, näiteks sobib selleks üldkasutatavad *USB* või muu jada liidesed. Selline lähenemine tagab, et mõõteseade on universaalne ja lihtsalt kasutatav. Antud ühendusliideste abil on võimalik digitaalseks muudetud signaali saata arvutisse töötlemiseks. Tähtis on jälgida, et kasutataval *DAQ* seadmel oleks *WINDOWS*'i operatsioonisüsteemis olemas seadmedraiver (*DAQ Device/Driver Software* joonisel 2.2). Ka programmeerimise tarkvara (*DAQ Device/Application Software* joonisel 2.2), mida kasutatakse signaalitöötlemiseks, arvutamiseks ja kliendi kasutajaliidese loomiseks, peab ühilduma läbi seadmedraiveri *DAQ* seadmega.

## **2.2. Mehaaniline osa**

Kuna töö eesmärgiks on luua gravitatsioonilisel impulssmeetodil toimivat analüsaatorit, siis kasutatav mehaaniline osa tuleb konstrueerida antud meetodi realiseerimiseks. Varasemates Eesti Maaülikooli teadustöodes kasutatud mehaaniline osa töötas giljotiini põhimõttel, kus löiketeral lasti vabalt langeda jõusensorile. Tera teeale asetatud test teim vähendas tera langemisel mõõdetavat jääkjõudu. Joonisel 2.3 on varasemates Eesti Maaülikooli teadustöodes kasutatud mehaanilise osa pilt.

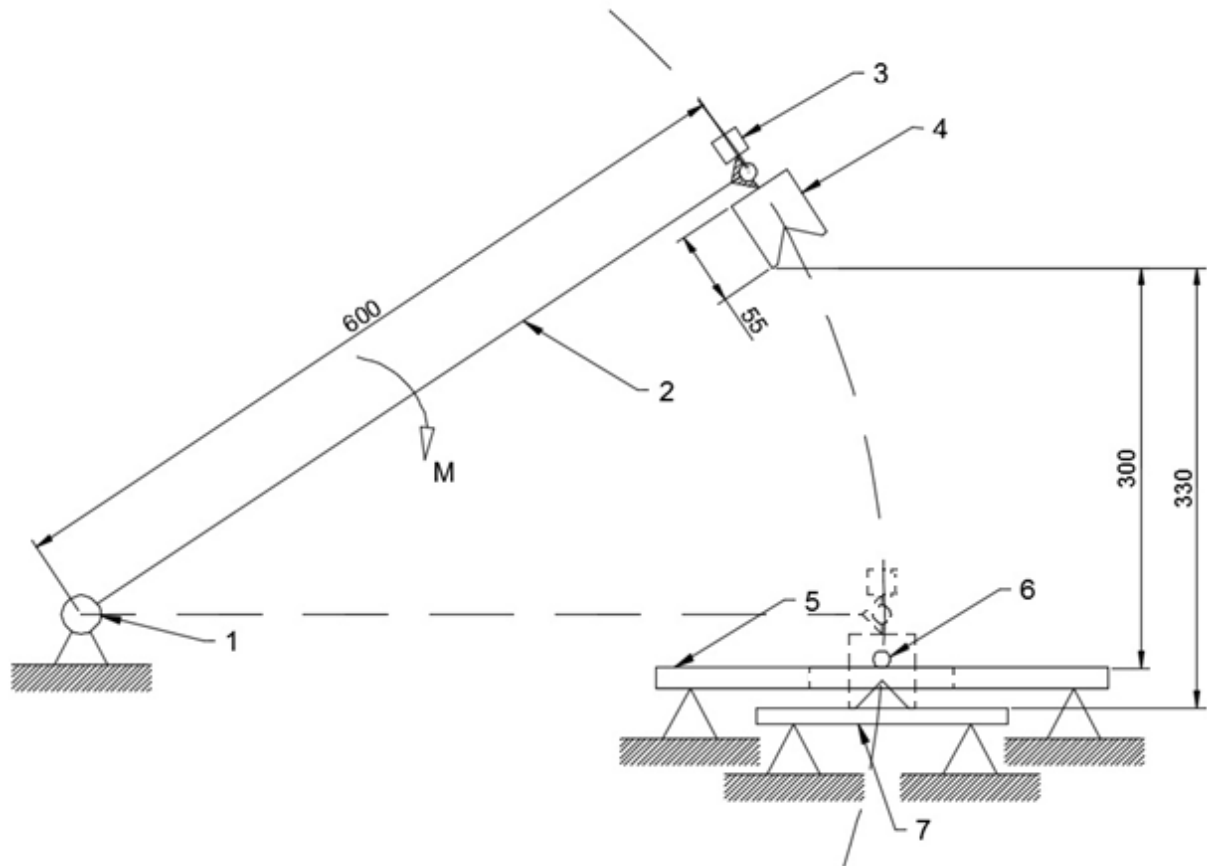


**Joonis 2.3.** Varasemates töodes kasutatud katseseade GIM meetodil liha löiketugevuse määramiseks. 1 – lisaraskus, 2 – päästikmehhanism, 3 – löiketera, 4 – liuglaager, 5 – toetavad küljeseinad, 6 – juhtlatt, 7 – löikealus, 8 – jõuanduri kandur. [3]

Varasemates Eesti Maaülikooli teadustöodes kasutatud mehaanilise osa testid näitasid, et tera liikus juhtsiinidel ebastabiilselt ja mõõtetulemused olid ebatäpsed. Mõõtetulemuste ebatäpsuse põhjuseid oli mitmeid: seadme konstrueerimine olemasolevatest osadest, sarnaste detailide erinevad mõõtmed, kiiresti kuluvad liuglaagrid ja juhtsiinid.

Eelnevat arvestades pakub autor välja giljotiinil põhinevale mehhaanilise lahendusele

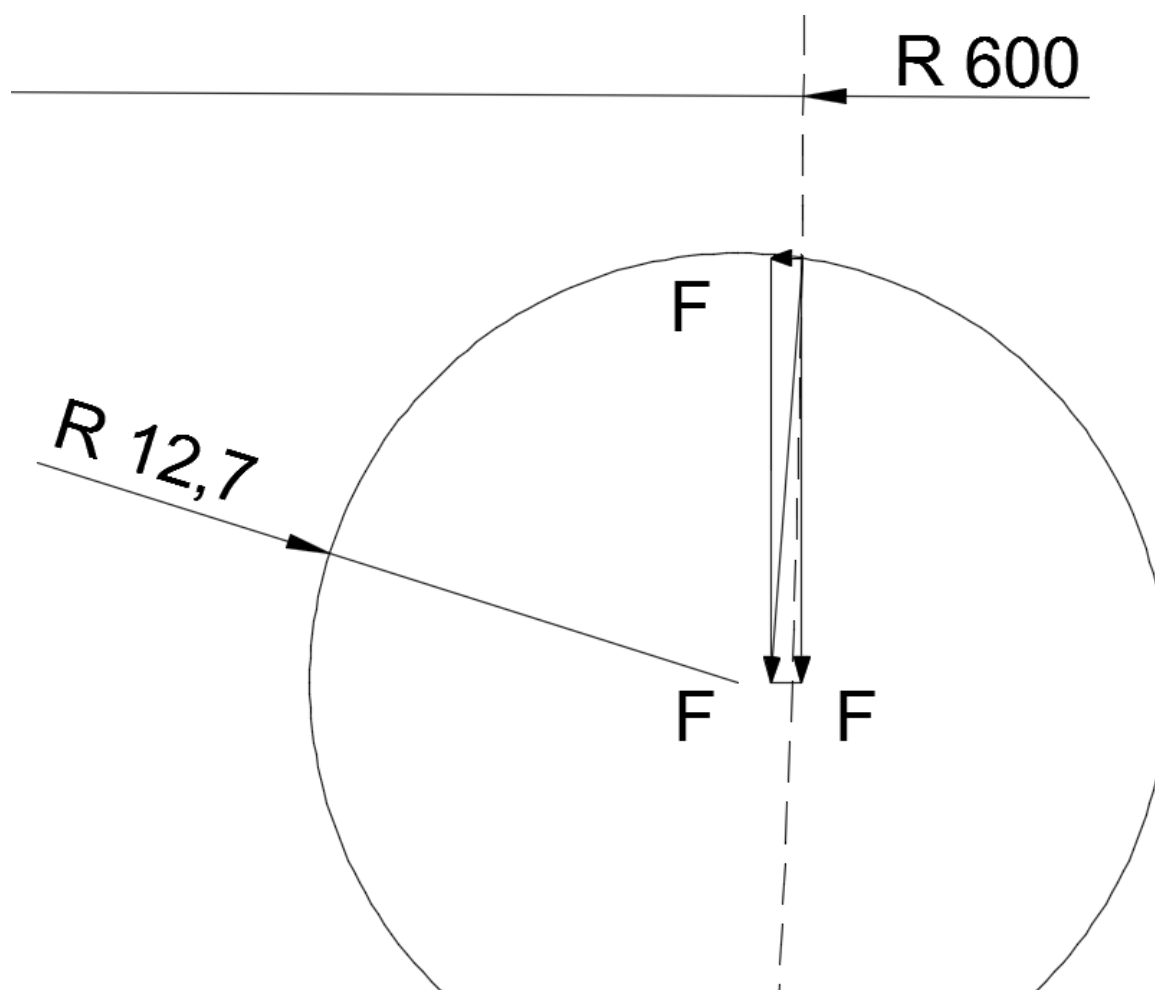
edasiarenduse, mille puhul on tegemist raadiusega langeva raskusega (noa teraga). Raadiusega langeva tera lõikeseadme kinemaatiline skeem on esitatud joonisel 3.4.



**Joonis 2.4.** Raadiusega langeva tera lõikeseadme kinemaatiline skeem. 1 – laager, 2 – lõiketera ja puksi vaheline tala, 3 – lisaraskus, 4 – lõiketera, 5 – lõikealus, 6 – testitav teim, 7 – jõuandur.

Joonisel kujutatud kinemaatilisel skeemil on lõiketera (4) kinnitatud tala (2) otsa külge. Tala teine ots on kinnitatud võllile, mis liigub laagrite (1) abil fikseeritud aluse suhtes. Tera peale on võimalik lisada lisaraskus (3). Lõikealusel (5) on testitav teim (6), mida läbib lõiketera. Teimi läbinud lõiketera jääkjõu mõõdab jõuandur (7), mis on kinnitatud jõulüli külge.

Joonisel 2.4 kujutatud lahendusel mõjutavad tera langemist mehaanilised tegurid, nagu kulumine ja hõõrdetaksitus, väga vähe. Lahenduse miinuseks on tera raadiusega liikumisest tingitud erisuunalised lõikejõu komponendid. Joonisel 2.5 on esitatud raadiusega lõikamisel tekkivate jõudude suunad.



**Joonis 2.5** Raadiusega löikamisel tekkivate jõudude suunad.

Joonisel 2.5 on näha, et löikejõu komponent  $F_B$  moodustab alla 10% kogu löikejõust  $F_L$ . Jõu komponent  $F_B$  on väike ja kuna kõik tekkivad jõukomponendid töötavad löikamisele ja vähendavad kokkuvõtteks jääkimpulssi, siis autori arvates ei ole vaja arvutustes raadiusega löikamisest tulenevaid jõukomponente eraldi analüüsida ja arvestada.

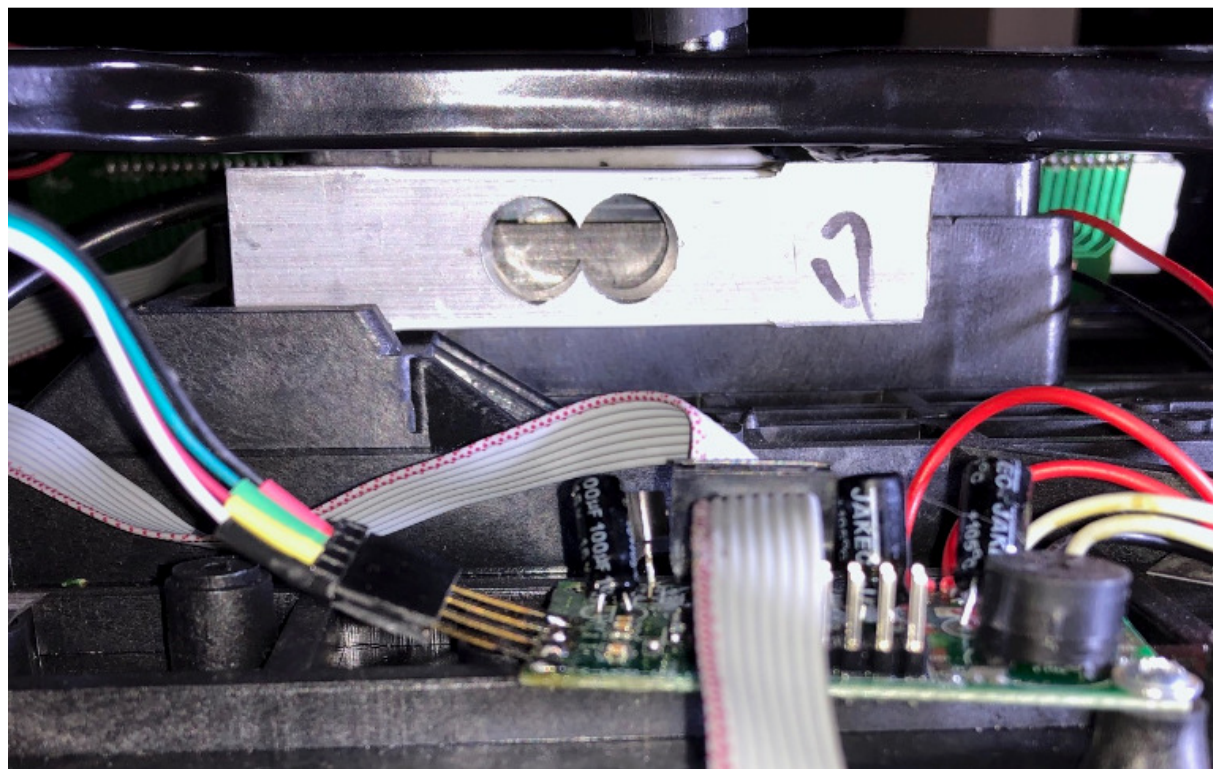
### 2.3. Jõusensor

Jõusensori ülesandeks antud seadmes on muuta mehaaniline energia elektrisignaaliks. Analüsaatori jõusensoriteks valiti tensomuundurid, mida kasutatakse kaalude koormusandurina. Tensoandur valiti, kuna seda tüüpi andurid on täpsed, deformatsioonikindlad ja kättesaadavad soodsa hinnaga [10].

Kuna töö autoril oli olemas tensomuunduritega andur müügikaalu ostuhinnaga , siis otsustati



analüsaatori juures olemasolevat andurit kasutada. Joonisel 2.6 on näidatud sensori pilt avatud korpusega olemasoleva kaalu seest.



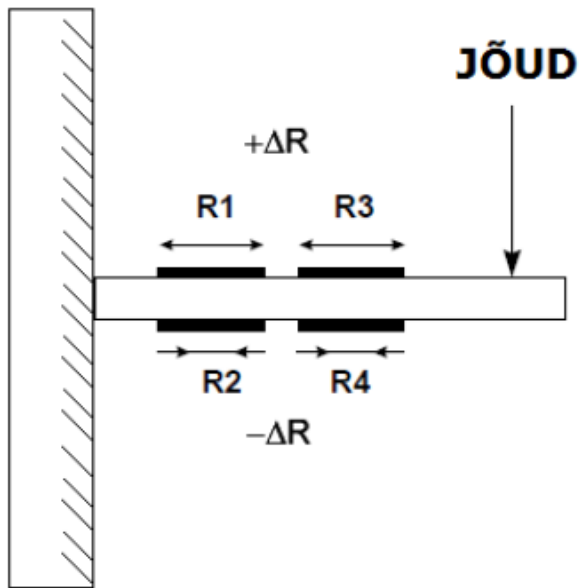
**Joonis 2.6.** Töös kasutatava tensoanduritega jõulüli pilt olemasoleva kaalu seest.

Kuna kaalus kasutatud anduril ei ole peale kirjutatud tootja nime ega mudelit, siis kirjeldame kaalu tootja poolt antud *Maxon MX – 1040* kaalu parameetreid [10]:

1. Mõõtepiirkond: 5g – 40kg
2. Toide: 230V, 4V 4Ah aku
3. Töötemperatuur: – 10° kuni +40° C
4. Mõõtmed: 230x340mm
5. Toide: 230V

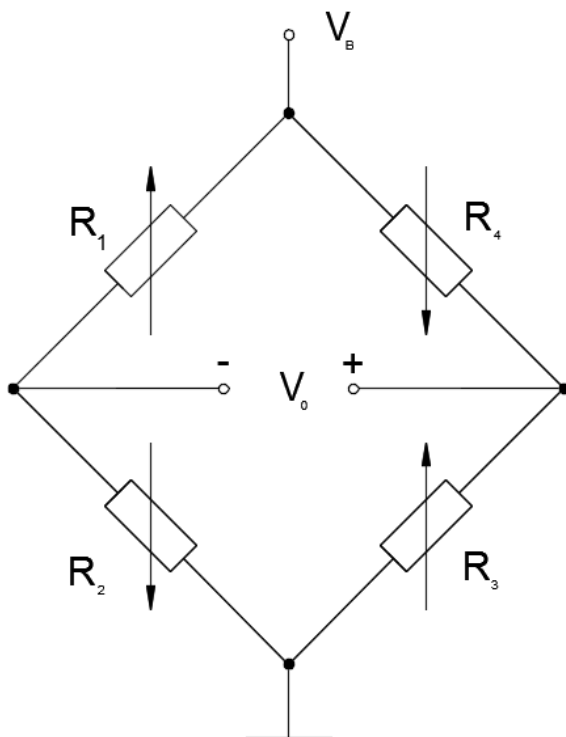
Kasutatav tensoandur (jõulüli), mis sisaldab nelja, mõõtesilda ühendatud tensomuundurit, kinnitatakse alusele. Tensoandurid on kinnitatud jõulüli vastaskülgedele kahe kaupa [11]. Joonisel 2.7 on esitatud sildühenduses tensoanduri põhimõtteskeem





**Joonis 2.7.** Kasutatud tensoanduri tööpõhimõte [11].

Jooniselt 2.7 on näidatud jõu suund, mis deformeerib (painutab) anduri korpust. Korpuse deformeerumisel venitatakse pealmiseid takisteid  $R_1$  ja  $R_3$ , mille tulemusel nende takistus suureneb. Samas surutakse anduri alumisi takisteid  $R_2$  ja  $R_4$  kokku, mille tulemusel nende takistus väheneb. Joonisel 2.8 on esitatud sildühenduses tensoanduri elektriskeem. [11]

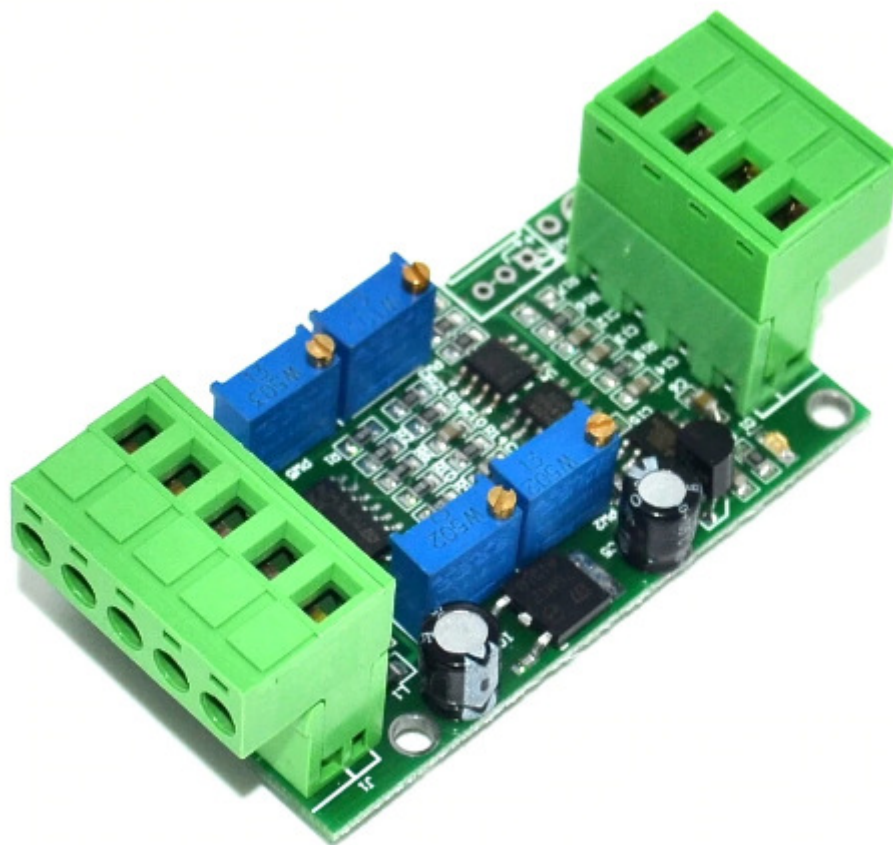


**Joonis 2.8.** Kasutatud tensoanduri elektriline skeem [11].

Joonisel 2.8 on näidatud sildühenduses takistid  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  ja  $R_4$ , mis kujutavad endast pingejagurit [11]. Tasakaalu olekus on väljundis  $V_0$  väljundpinge 0V. Takistuse muutudes tekib väljundisse pinge. Andur vajab toimimiseks toidet sisendis  $V_B$ .

## 2.4. Jõusensori signaali võimendi

Kuna jõusensori ehk tensoanduri väljundsignaal on vahemikus 0,1 kuni 1mV, siis sisend-väljundmooduliga ühendamiseks on vaja tensoanduri signaali võimendada. Sobiva spetsiaalselt kaalude andurite signaalide võimendamiseks mõeldud signaalivõimendi leidis autor veebipoest *AliExpress.com*. Signaalivõimendi tootja on *XIN NUO QI* ja toote hind koos transpordiga Eestisse oli 12,10EUR. Toode jõudis Eestisse 14 päevaga. Joonisel 2.9 on näidatud signaalivõimendi välimus.



**Joonis 2.9.** Signaalivõimendi *XIN NUO QI* välimus [12].

Signaalivõimendi *XIN NUO QI* parameetrid [12]:

1. Toitepinge: 10 – 24VDC
2. Väljundsignaal: 0 – 5V või 0 – 10V

3. Sisendsignaali tundlikkus: 0.1mV/V

4. Töötemperatuur: 20° – 80° C

Signaalivõimendi vajab eraldi toidet, milleks kasutati 12V 1A impulsstoiteplokki. Seadme sisse on ehitatud toitemuundur tensoanduri toitmiseks. Tensoandurile mõeldud toitepinge on 4V. Signaalivõimendil on kahe erineva piirkonnaga signaaliväljundid. Antud töös kasutati 0-5V piirkonnaga signaaliväljundit.

## 2.5. Sisend-väljund moodul

Kuna arvutis kasutatava tarkvarana on valitud ettevõtte *National Instruments (NI)* poolt loodud *LabVIEW* tarkvara, siis parema kokkusobivuse ja kasutajamugavuse saavutamiseks on valitud arvuti ja sensoriga ühendatavaks mõõteseadmeks sama tootja *DAQ* seade ehk sisend-väljundmoodul *USB-6008*. Sellise seadme hind on vahemikus 200 – 300 eurot. Joonisel 2.10 on näidatud sisend-väljundmooduli *USB-6008* välimus.



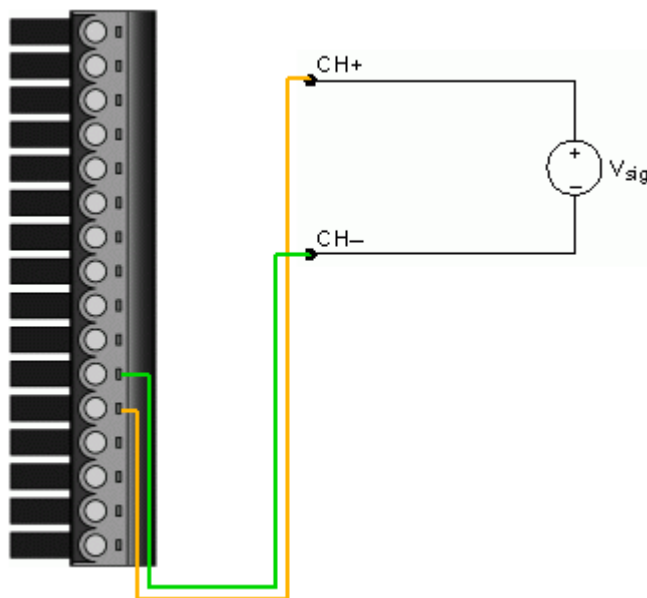
**Joonis 2.10.** Sisend-väljundmoodul *USB-6008* [13].

Antud töö kontekstis olulisemad seadme *USB-6008* parameetrid [14]:

1. Analoo sisendid-väljundid: 8 analoo sisendit ja väljundit
2. Digitaalsed sisendid-väljundid: 12 digitaalset sisendit või väljundit
3. Sisendi resolutsioon: 12bit

4. Maksimaalne mõõtesagedus: 10k S/s (mõõtmist sekundis)
5. Mõõtepiirkond:  $\pm 20V$  (5mV)
6. Toide: 5V 500mA (USB)

Joonisel 2.11 on näidatud kasutatud sisend-väljundmooduli ühenduse skeem.



**Joonis 2.11.** Sisend-väljundmoodul *USB-6008* ühenduse skeem.

Antud seade valiti kuna seadme hind on suhteliselt odav, parameetrid sobivad ja olemas on ühilduvus *WINDOWS* operatsioonisüsteemiga läbi *DAQmx* seadmedraiveri ning kasutatud visuaalse programmeerimise tarkvaraga *LabVIEW*.

## 2.6. Tarkvaralahendus

### 2.6.1. *LabVIEW* tarkvara

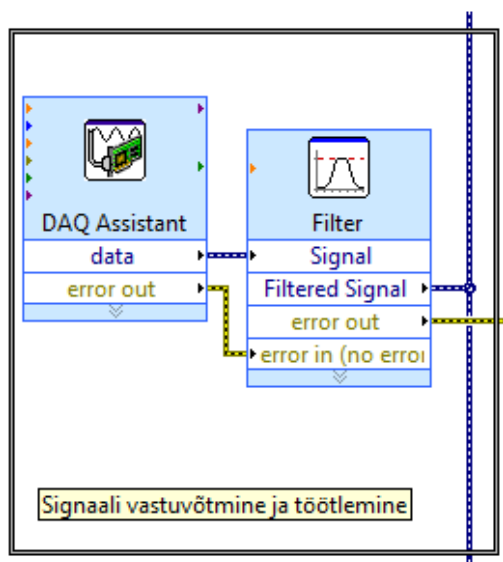
Lõiketugevuse analüsaatori jõuanduri signaalide analüüsimiseks kasutati ettevõtte *Texas Instrument* poolt loodud visuaalset programmeerimise keskkonda *LabVIEW*, kuna antud tarkvara ühildub valitud sisend-väljundmooduli ja *WINDOWS* operatsioonisüsteemiga ning loodud programmist on võimalik luua tarkvara ja draiverit sisaldava ise installeeruva *EXE* faili.

*LabVIEW* programmeerimise keskkonnas luuakse visuaalne tarkvara *VI* failidest, mis

koosnevad kahest vaatest: *Block Diagram* (plokkdiagramm) ja *Front Panel* (esipaneel). Plokkdiagramm moodustab alam-moodulitest ja nende vahelistest ühendustest koosneva visuaalse tarkvara loomise liidese. Esipaneeli kasutatakse kasutaja keskkonna loomiseks. Esipaneelil olevad nupud, indikaatorid ja funktsioonid on seotud plokkdiagrammi alam-moodulitega. Suuremad plokkdiagrammid ei pruugi mahtuda ülevaatliselt kasutaja ekraanile ja seetõttu on tootja lisanud plokkdiagrammi moodulitest võimaluse teha *SubVI* (alam VI) failid. Tarkvara looja saab tekitada põhi VI-st alam VI-d, mille tulemusena on põhi plokkdiagramm ülevaatlis ja ühe hiire klikiga on võimalik avada alam VI seal vajalike muudatuste tegemiseks. Valmis tarkvarast on võimalik teha *EXE* fail, mida on võimalik käivitada kasutaja arvutis ilma *LabVIEW* tarkvara installeerimata ja mis sisaldab põhi ning alam VI faile koos vajalike lisatarkvara komponentidega, nagu näiteks *USB-6008* mooduli kasutamiseks vajalikku *Windows*’i operatsioonisüsteemi draiverid. [15]

## 2.6.2. Signaali vastuvõtmine ja filtreerimine

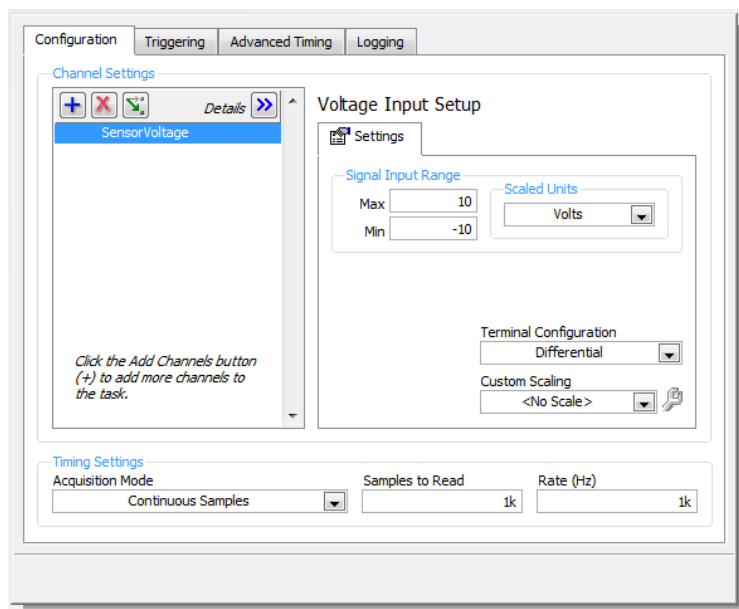
Arvuti *USB* pessa ühendatud sisend-väljundmooduli signaali kasutamiseks arvutis on *LabVIEW* tarkvara keskkonnas loodud signaalide vastuvõtmise ja filtreerimise alam-moodul, mis on esitatud joonisel 2.12.



**Joonis 2.12.** Signaalide vastuvõtmise ja filtreerimise alam-mooduli plokkdiagramm.

Antud alam-moodul on jagatud kahte ossa: signaali vastuvõtmine ja filtreerimine.

Signaali vastuvõtmiseks kasutatakse *DAQ Assistant* alam-moodulit, mis võimaldab tarkvaral suhelda *DAQmx* draiveriga kokkusobivate seadmetega. *DAQ Assistant* alam-moodulis kirjeldatakse kasutatava sisend-väljundmooduli tüüp ja ühendusklemmid. Määratakse mõõtetulemuste vahemik ja sagedus. *DAQ Assistant* alam-mooduli seadistuste aken on esitletud joonisel 2.13.

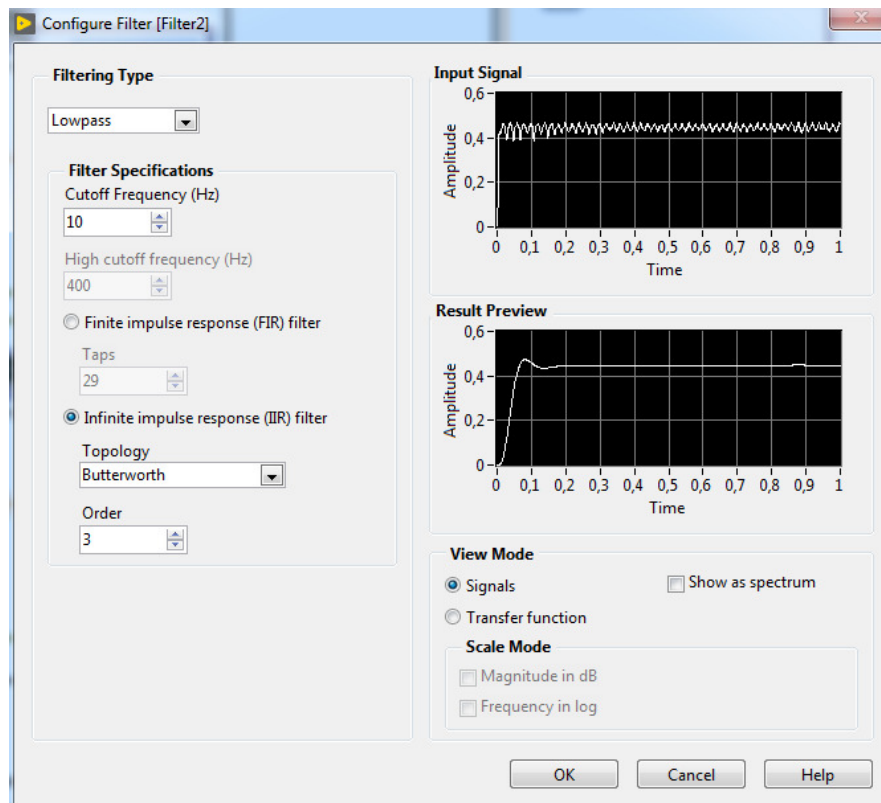


**Joonis 2.13.** Signaalide vastuvõtmise seadistamise aken.

Tarkvara lahenduse loomise käigus seadistati *DAQ Assistant* tarkvara alam-mooduli põhiseaded järgmiselt:

- 1) Ühendatav seade: *USB-6008*
- 2) Kasutatav analoog sisend: A1
- 3) Signaali pingevahemik: -10 kuni +10V (Joonis 3.2 *Signal Input Range*)
- 4) Mõõtesagedus: 1kHz (Joonis 3.2 *Rate( Hz)*)
- 5) Mõõtmine: pidev (Joonis 3.2 *Acquisition Mode/Continuous Samples*)

Signaalide vastuvõtmise ja filtreerimise alam-mooduli teises osas kasutati filtrit *USB* liidese kaudu tuleva müra vähendamiseks. Joonisel 2.14 on näidatud müra filtreerimise alam-mooduli seadistuste aken.



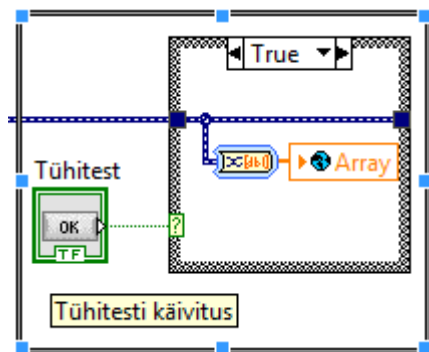
**Joonis 2.14.** Müra filtreerimise alam-mooduli seadistamise aken.

*DAQ Assistant* alam-mooduli väljundsignaalist müra vähendamiseks kasutati müra filtreerimise alam-moodulis järgmisi seadistusi:

- 1) Filtri tüüp: madalpääsu filter
- 2) Filteerimise sagedus: 10Hz
- 3) Filtri omadused : pidev impulssidele reageerimine
- 4) Topoloogia: *Butterworth*

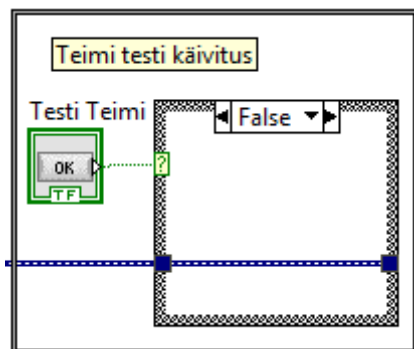
### 2.6.3. Testi valimine ja käivitamine

Testi valimise ja käivitamise alam-moodul võimaldab kasutajaliidese paneelile tekitada juhtnupud, mille abil saab kasutaja valida sobiva testi ja saata vastav signaal edasi õigesse andmebaasi globaalse muutuja abil. Tühitesti valiku visuaalne plokkdiagramm on esitatud joonisel 2.15.



**Joonis 2.15.** Tühitesti käivituse valiku visuaalne plokkiagramm.

Teimi testi valiku visuaalne plokkiagramm on esitatud joonisel 2.16.



**Joonis 2.16.** Teimi testi käivituse valiku visuaalne plokkiagramm.

Mõlema testi valikud on tarkvaraliselt sama lahendusega. Tühitesti ja teimi testi moodulid on ühendatud *Case Structure* moodulitega. Vajutades kasutajapaneelilt (joonis 3.6) "Tühitest" või "Testi teimi" nuppe annavad vastavalt tühitesti ja teimi testi moodulid *Case Structure* moodulile tõese või mittetõese väärtuse, millest lähtuvalt *Case Structure* moodul kas saadab globaalse muutuja abil signaali edasi või signaali edasi ei saadeta. "Tühitesti" ja "Testi teimi" juhtnupud kasutajapaneelil on esitatud joonisel 2.17.



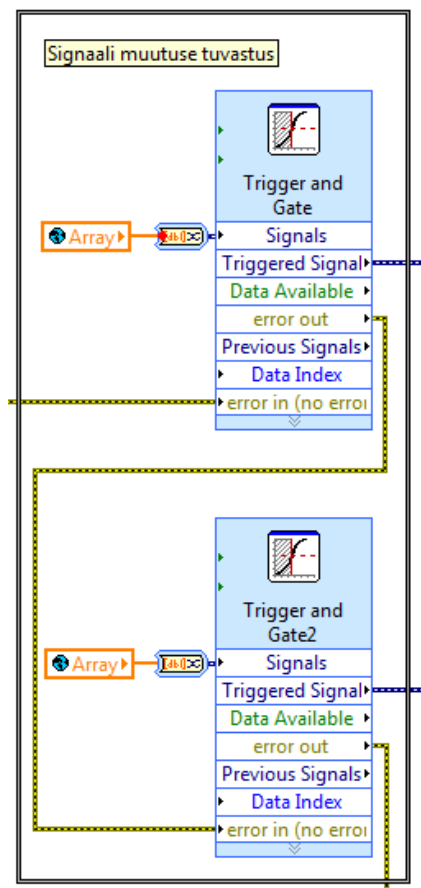
**Joonis 2.17.** Tühitesti ja Testi teimi juhtnupud kasutajapaneelil.

#### 2.6.4. Signaali töötlemine ja andmemassiivide moodustamine

Signaali töötlemise ja andmemassiivide moodustamise moodulis võetakse globaalse muutuja

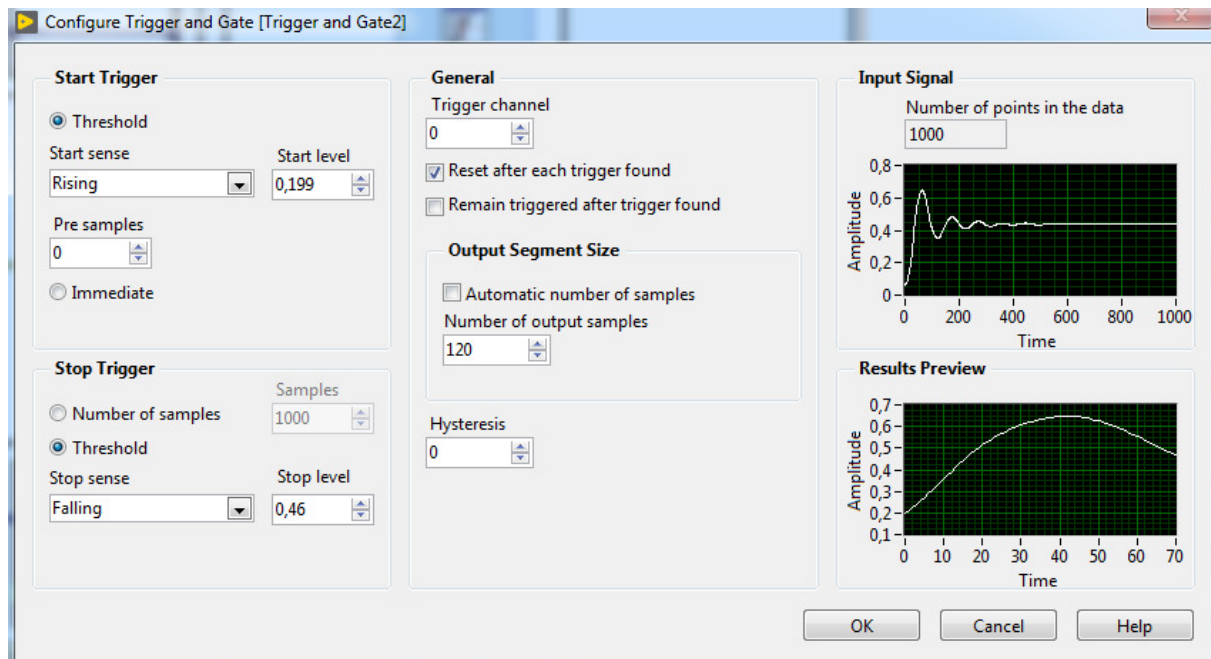


poolt väljastatud signaalid ja suunatakse need moodulisse, mis eelseadistatud väärtuste järgi tuvastab jõu muutuse alguse ja lõpphetkedele, lõikab signaalist välja vajaliku lõigu ning moodustab jõu muutuste andmete jada. Signaali töötlemise ja andmemassiivide moodustamise mooduli visuaalne plokkiagramm on esitatud joonisel 2.18.



**Joonis 2.18.** Signaali töötlemise ja andmemassiivide moodustamise mooduli visuaalne plokkiagramm.

Signaali töötlemise mooduli seadistuste aken on esitatud joonisel 2.19.

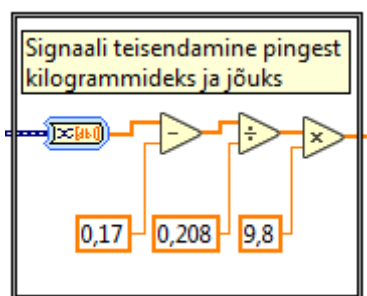


**Joonis 2.19.** Signaali töötlemise mooduli seadistuste aken.

Testi tulemuseks vajalikku jõu dünaamikat kirjeldavate andmete lõikamist signaalist alustatakse, kui sisendsignaali pinge tõuseb 0,199V-ni (joonis 3.8, *Start Triger/ Threshold/ Rising*) ja lõpetatakse, kui pinge langeb 0,46V-ni (joonis 3.8, *Stop Trigger/Threshold/Falling*). Pinge 0,199V on valitud, kuna jõusensori pinge ilma koormuseta on 0,197V ja pinge 0,46V on valitud, kuna jõusensori pinge on lõiketera koormusega 0,44V.

## 2.6.5. Andmete teisendamine

Andmete teisendamise moodulis teisendatakse jõusensori poolt mõõdetud pingesignaal vastavalt sensori tunnusjoonele kilogrammideks ja kilogrammid teisendatakse jõu leidmiseks njuutoniteks. Töomasina Signaali teisendamise visuaalne plokkdiagramm on esitatud joonisel 2.20.



**Joonis 2.20.** Signaali teisendamise visuaalne plokkiagramm.

Valemis 2.1 näidatud tunnusjoon kirjeldab pinge sõltuvust raskusest. (tunnusjoone leidmine on esitatud jaotises 3.1 "Tunnusjoone leidmine" lk 42).

$$U = 0,208 \cdot m + 0,170 \quad (2.1.)$$

kus  $U$  on pinge V;  
 $m$  – mass kg.

Avaldame valemist 2.1. massi et teisendada mõõdetud pinge väärtused kilogrammideks (valem 2.2).

$$m = \frac{U - 0,170}{0,208} \quad (2.2.)$$

kus  $m$  on mass kg;  
 $U$  – pinge V.

Vastavalt Newtoni teisele seadusele [16] saame kasutada langeva keha korral järgmist valemit kilogrammide teisendamiseks njuutoniteks (valem 2.3).

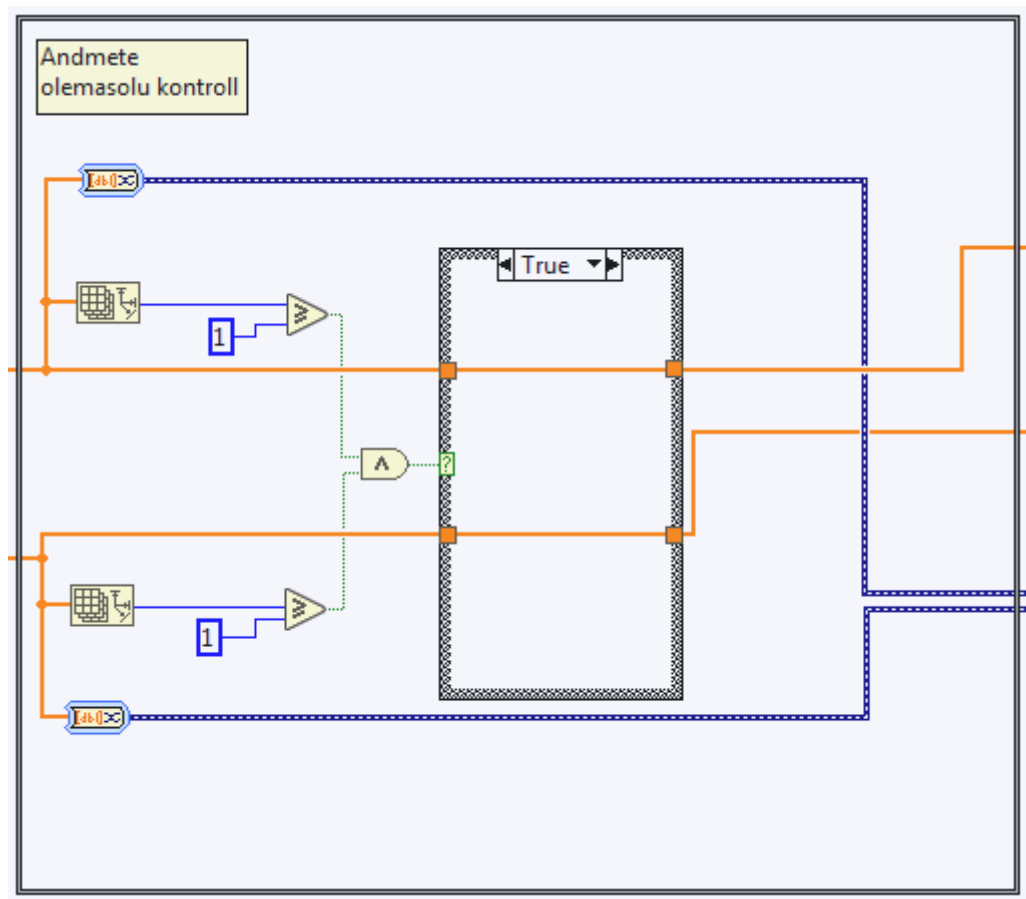
$$F = m \cdot g \quad (2.3.)$$

kus  $F$  on jõud N;  
 $m$  – mass kg;  
 $g$  – raskuskiirendus  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

Joonisel 2.20 on visuaalsel plokkiagrammil näha valemite 2.2 ja 2.3 põhjal valitud arvutusmoodulid.

## 2.6.6. Andmete olemasolu kontroll

Andmete olemasolu kontrolli ja andmemassiivide lahutamise alam-moodul kontrollib, kas andmebaasides on info olemas ja info olemasolul lahutatakse tühitesti andmebaasi andmetest teimi lõikamise testi andmebaasi andmed. Alam-mooduli visuaalne plokkiagramm on esitatud joonisel 2.21.

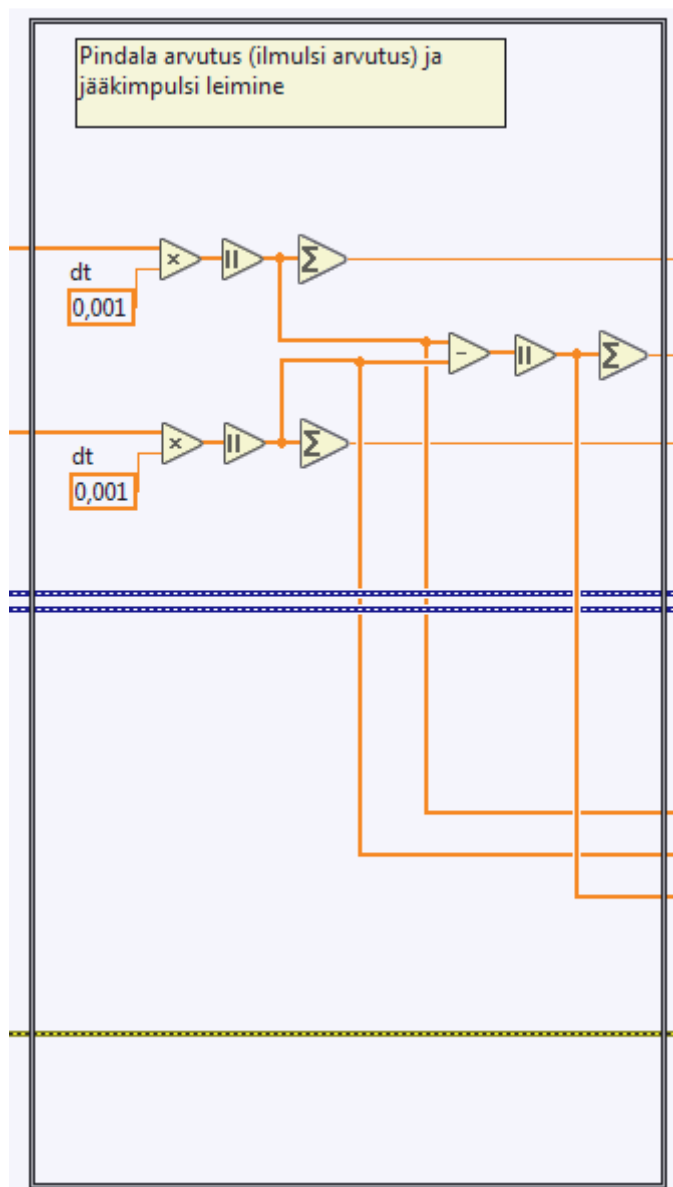


**Joonis 2.21.** Andmete olemasolu kontrolli ja andmebaaside lahutamise visuaalne plokkiagramm.

Andmete olemasolu kontrolliks võetakse andmebaasist andmemassiivi pikkus ja kui see on suurem või võrdne ühega, siis antakse JA loogikalülile tõene väärtus. Kui mõlema, tühitesti ja teimi lõikamise testi andmebaasid on olemas, siis annab JA loogikalüli tõese väärtuse *Case Structure* moodulile, mis laseb tõese väärtuse korral mõlema andmemassiivi info läbi ja andmed saadetakse järgmisesse moodulisse.

### 2.6.7. Graafikualuse pindala arvutamine ja jääkimpulsi leidmine

Graafikualuse pindala arvutamise moodulis arvutatakse tühitesti ja teimi testi jõu muutuste graafiku aluse pinna pindala ning leitakse absoluutväärtus. Tühitesti ja teimi testi pindalad lahutatakse ja tulemuseks saadakse Lõikamisest üle jäänud jääkimpulss. Graafiku aluse pindala arvutamise ja jääkimpulsi arvutuse visuaalne plokkiagramm on esitatud joonisel 2.22.



**Joonis 2.22.** Graafiku aluse pindala arvutamise ja jääkimpulsi arvutuse visuaalne plokkiagramm.

Impulss on jõu mõju ajas vastavalt valemile 2.4 [17].

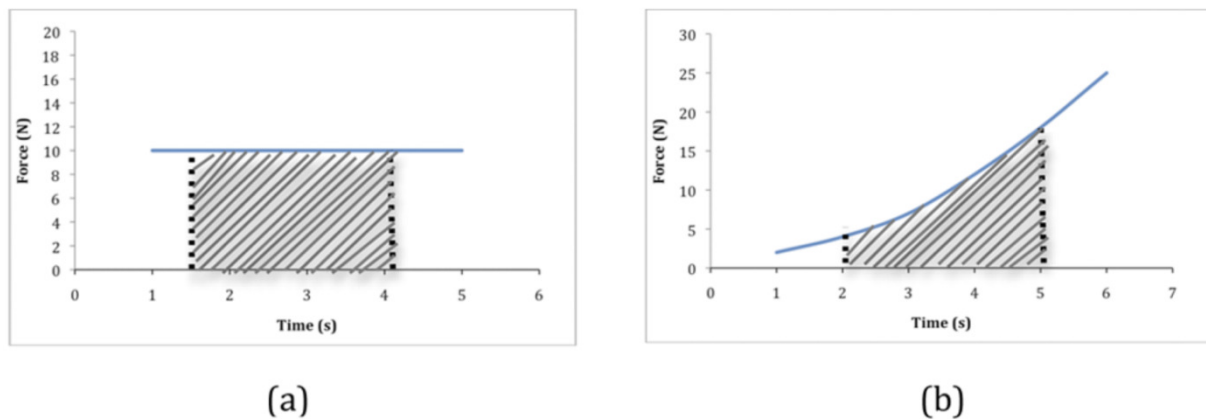
$$J = F \cdot \Delta t, \quad (2.4.)$$

kus  $J$  on impulss N·s;

$F$  – jõud N;

$\Delta t$  – aeg s.

Joonisel 2.23 on esitatud staatilise ja ajas muutuva jõu graafikud ning impulsi projektsioon ehk pindala (viirutatud ala).



**Joonis 2.23.** Impulss sõltuvalt jõu dünaamikast: a) staatilise jõu korral, b) muutuva jõu korral [17].

Jõu impulsi leidmiseks muutuva jõu dünaamika korral on vaja arvutada graafikualuse pinna pindala vastavalt valemile 2.5. [17].

$$J = \int_0^t f(x) dx, \quad (2.5.)$$

kus  $J$  on impulss N·s;

$f(x)$  – jõu funktsioon N;

$t$  – aeg s.

Mõõtesageduseks on määratud *DAQ Assistant* alam-mooduli seadistustes 1kHz, mis tähendab, et andmebaasi mõõtetulemuste ajaline vahe on 0,001ms. Kuna andmemassiivi iga väärtus on jõud  $F_n$  ja tema alla jääva pindala laius on kahe mõõtepunkti ajaline vahe, siis arvutatakse iga mõõtepunkti pindala ja tulemused summeritakse vastavalt valemile 2.6.

$$J = \sum_0^n F_n \cdot t, \quad (2.6.)$$

kus  $J$  on impulss N·s;

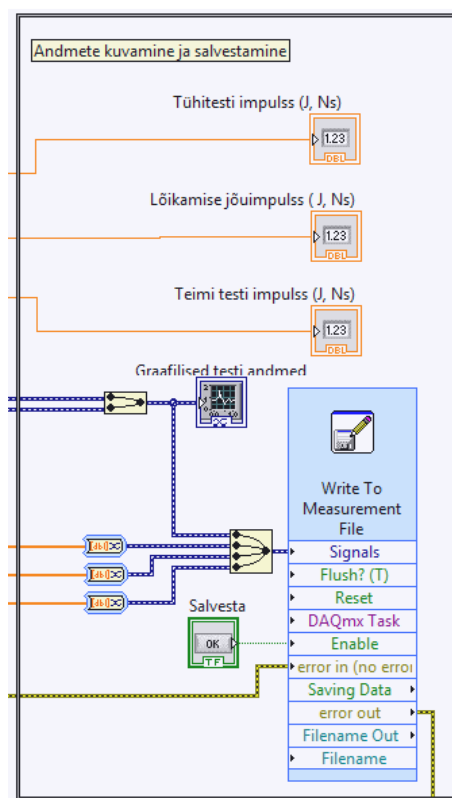
- $F_n$  –  $n$  mõõtetulemuse jõu väärtus N;  
 $n$  – andmebaasis olevate mõõtetulemuste arv;  
 $t$  – mõõtetulemuste ajaline samm s.

Kuna teimi testi tulemused võivad olla testi alguses või lõpus suurema väärtusega, kui on tühistesti tulemus, siis võetakse iga üksiku mõõtepunkti all olevast pindalast ka absoluutväärtus.

Joonisel 2.22 on visuaalsel plokkdiagrammil näha valemi 2.6 põhjal valitud arvutusmoodulid.

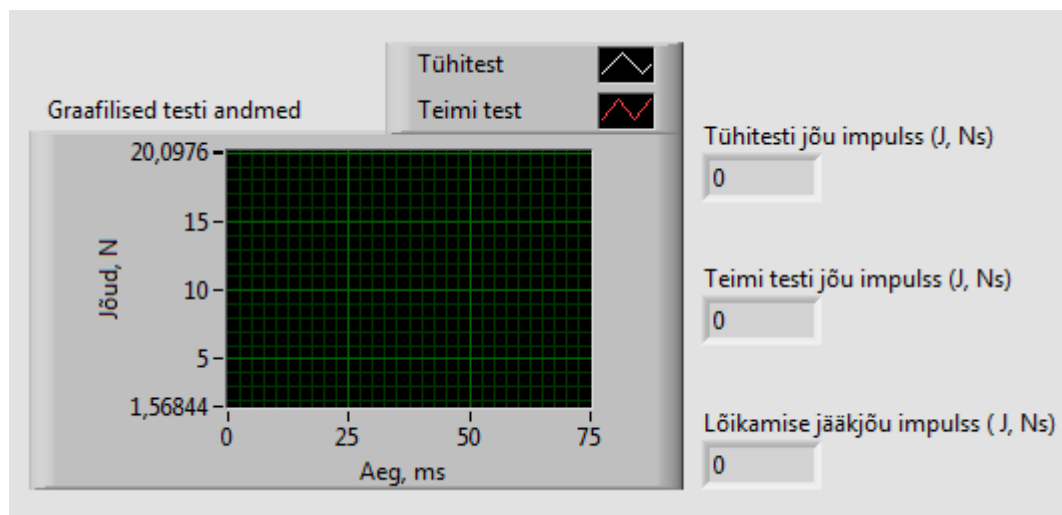
### 2.6.8. Testi andmete kuvamine ja salvestamine

Andmete kuvamise ja salvestamise moodulis kuvatakse kasutaja keskkonnas tühistesti ja teimi testi jõudude graafikud koos mõlema testi löikejõu impulsi ning jääkjõu impulsi näidud eraldi numbrilisel näiturul. Andmete kuvamise ja salvestamise visuaalne plokkdiagramm on esitatud joonisel 2.24.



**Joonis 2.24.** Andmete kuvamise ja salvestamise visuaalne plokkdiagramm.

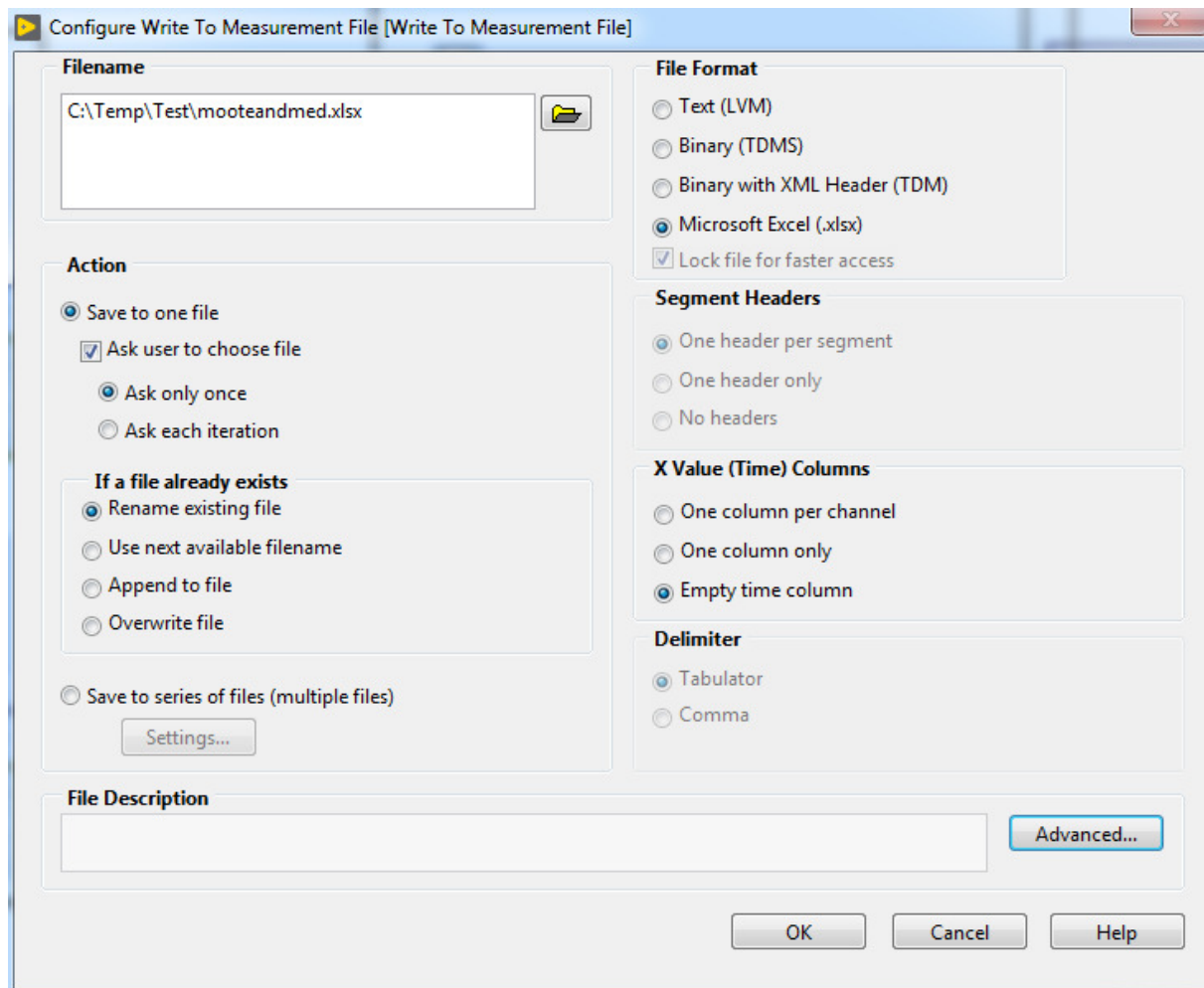
Plokkdiagrammil liidetakse tühitesti ja teimi testi jõu andmed ning suunatakse liidetud signaal *Waveform* alam-moodulisse (joonis 2.24, moodul "Graafilised testi andmed") kasutaja liidesele graafikute kuvamiseks (joonis 2.25).



**Joonis 2.25.** Graafikute ja näitude kuvamise kasutajaliidese pildikuva.

Liidetud signaalile lisatakse omakorda mõõtmistulemuse impulss ja tulemus suunatakse *Write To Measurement File* alam-moodulisse mõõteandemete faili salvestamiseks. *Write To Measurement File* alam-mooduli seadistuste aken on kuvatud joonisel 2.26.



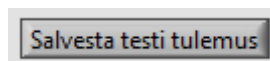


**Joonis 2.26.** *Measurement File* alam-mooduli seadistuste aken.

*Measurement File* alam-moodulis tehtud seadistused:

- 1) Faili nimi: C:\Temp\Test\mooteandmed.xlsx (Joonis 2.26, *Filename*)
- 2) Tegevus: salvestatakse üks fail, kasutaja valib faili, teekonda ja faili nime küsitakse esimesel käivitamisel (Joonis 2.26, *Action/Save to one file /Ask only once/*)
- 3) Kui fail on olemas: olemasolev failinimi nimetatakse ümber (Joonis 2.26, *If a file already exist/rename existing file*)
- 4) Faili formaat: *Microsoft Excel* (Joonis 2.26, *File format/Microsoft Excel*)

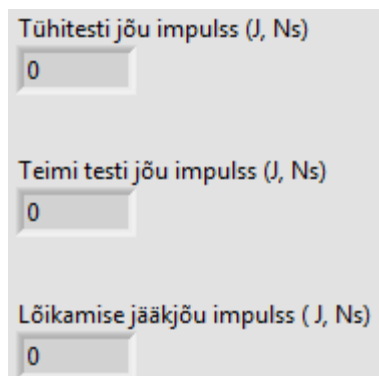
*Write To Measurement File* alam-mooduli ehk salvestamise käivitamiseks kasutatakse visuaalsel plokkdiagrammil "Salvesta" nupumoodulit (joonis 2.24) ja kasutajaliidesel "Salvesta testi tulemus" nuppu, mis on esitatud joonisel 2.27.



**Joonis 2.27.** "Salvesta testi tulemus" juhtnupp kasutajaliidesel.

Andmete kuvamise ja salvestamise mooduli visuaalsel plokkdiagrammil (Joonis3.13) on numbriliste andmete moodulid, mis kuvavad jõu impulsi väärtused kasutajaliidesele.

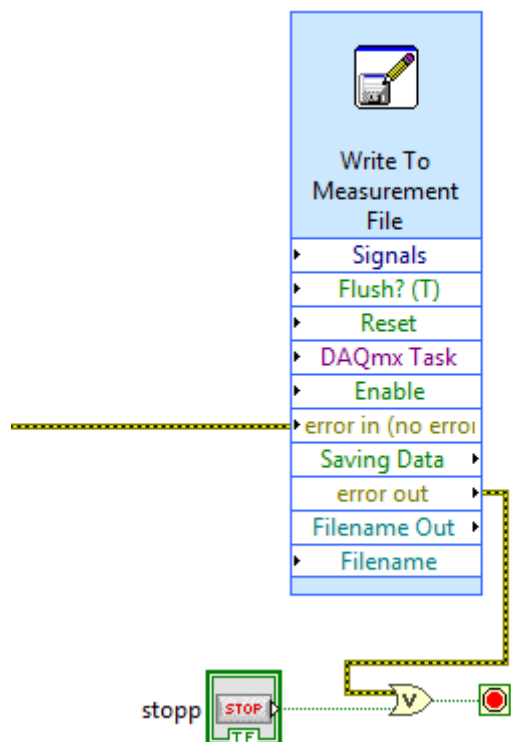
Kasutajaliidesel kuvavad impulsi näidud on esitatud joonisel 2.28.



**Joonis 2.28.** Kasutajaliidesel kuvavad impulsi näidud.

## 2.6.9. Tõrke ahel ja programmi töö lõpetamine

Kõikide visuaalsel plokkdiagrammil olevate alam-moodulite vahele on loodud "error in" ja "error out" ühendused, mis annavad programmi töö vea korral tõese väärtuse VÕI loogikaelemendile, mis edastab tõese väärtuse programmi töö lõpetavale käsumoodulile. Loogikaelemendi VÕI teine sisend on ühendatud "stopp" juhtnupu moodulisse, mida lõppkasutaja saab aktiveerida kasutajaliideselt. Tõrkeahela ja programmi töö lõpetamise visuaalne plokkdiagramm on esitatud joonisel 2.29.



**Joonis 2.29.** Tõrkeahela ja programmi töö lõpetamise visuaalne plokkiagramm.

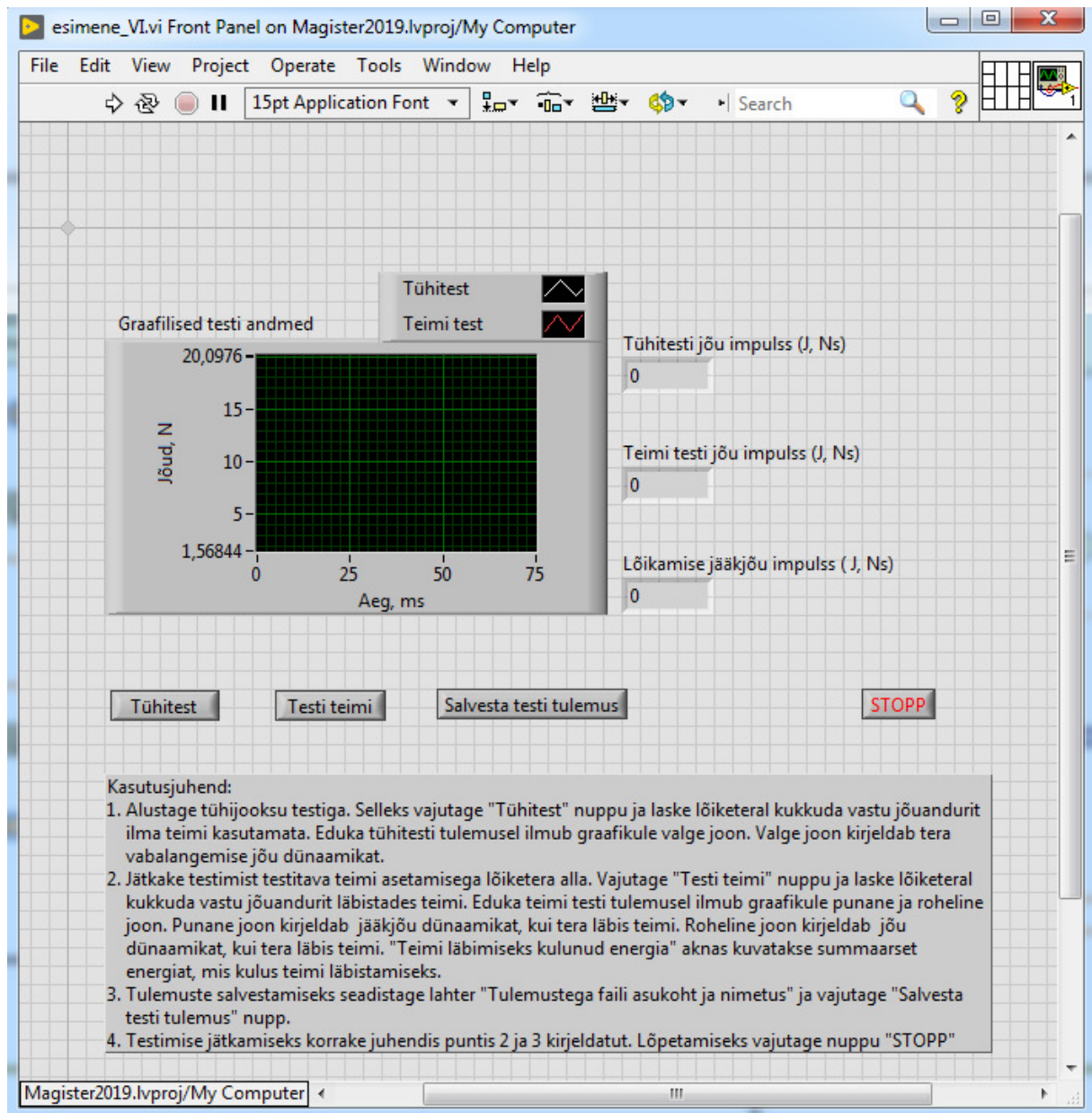
Programmi töö lõpetamise nupp "STOPP" kasutajaliidesel on esitatud joonisel 2.30.



**Joonis 2.30.** Programmi töö lõpetamise nupp "STOPP" kasutajaliidesel.

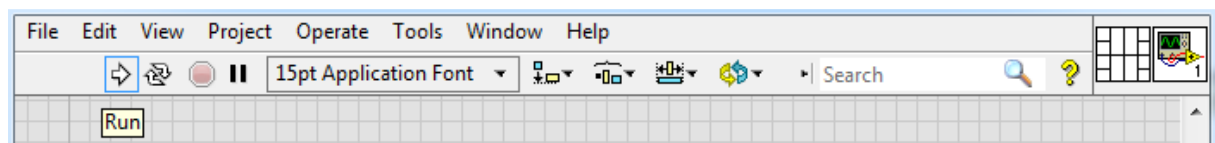
## 2.6.10. Kasutajaliides ja kasutusjuhend

*LabVIEW* visuaalse programmeerimise tarkvara *VI* faili esipaneeli abil luuakse kasutajaliides, kus tarkvara kasutaja näeb ja saab kasutada vajalike näidikuid ja juhtseadmeid. Näidikute ja juhtnuppude suuruseid ning nähtavaid nimetusi saab muuta. Nende asukohti on võimalik ruudulisel aluspõhjal liigutada sobivasse kohta. Kasutajaliidese loomisel kasutatud *VI* faili esipaneel on esitatud joonisel 2.31.



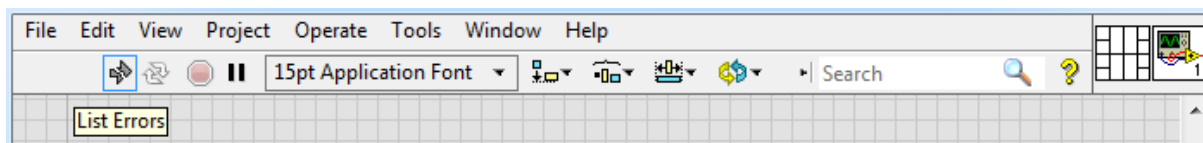
**Joonis 2.31.** Kasutajaliidese loomisel kasutatud VI faili esipaneel.

Tarkvara loomisel lisati kasutajaliidesele ka kasutusjuhend, mis on kasutajal alati näidikute ja juhtnuppude all kättesaadaval kohal. Tarkvara käivitamiseks ja testimiseks on VI failide menüüribal "Run" napp, millele vajutades tarkvara alustab töösükleid. VI faili esipaneelil asuv tarkvara käivitamise nupu asukohta on esitatud joonisel 2.32.



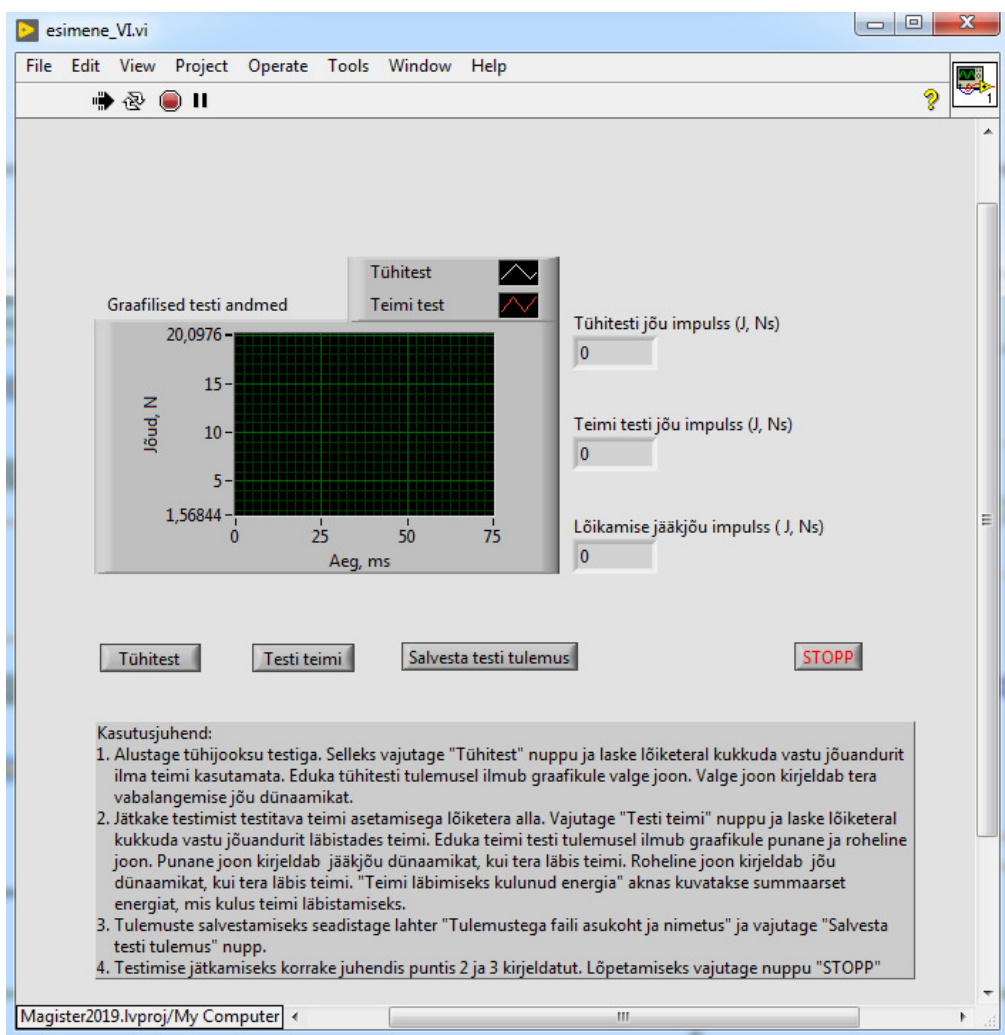
**Joonis 2.32.** VI faili esipaneelil asuv tarkvara käivitamise napp.

Kui tarkvaras on viga, siis "Run" käivitamise nupu asemel on nupp "List Errors", millele vajutades kuvatakse veateated. VI faili esipaneelil asuv veale viitav tarkvara käivitamise nupp on esitatud joonisel 2.33.



**Joonis 2.33.** VI faili esipaneelil asuv veale viitav tarkvara käivitamise nupp.

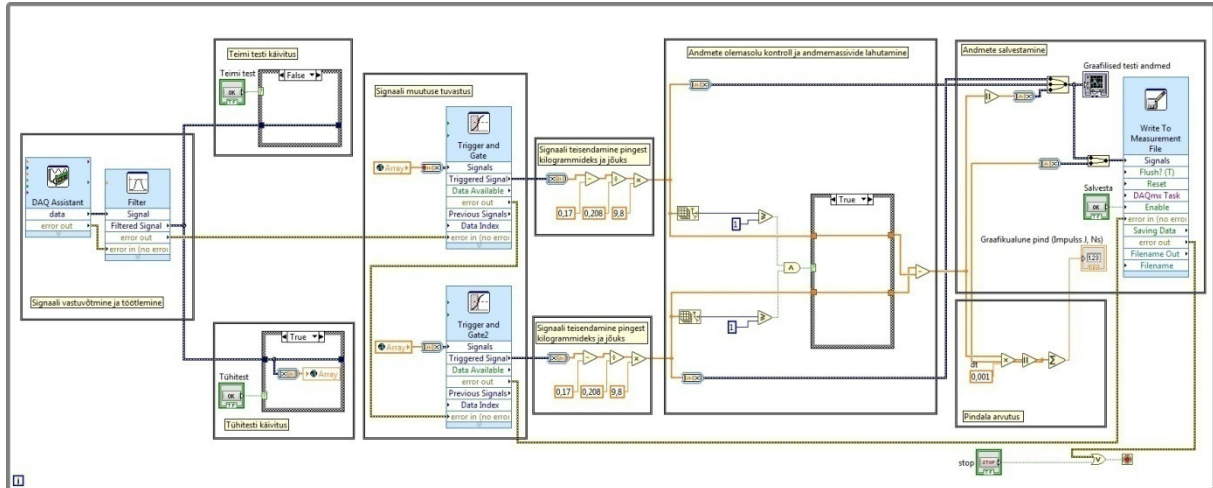
Töötava kasutajaliidese ekraanikuva on esitatud joonisel 2.34.



**Joonis 2.34.** Analüsaatori kasutajaliidese pildikuva.

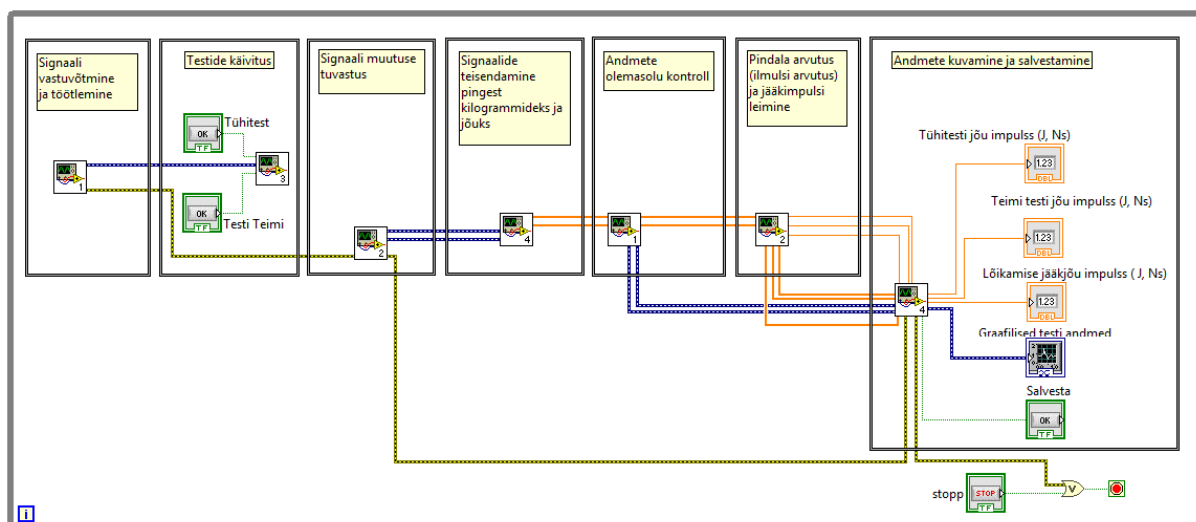
## 2.6.11. Alam VI-de loomine

Mahukad tarkvaraarendused *LabVIEW* visuaalse projekteerimise keskkonnas muudavad plokkiagrammi suureks ja mitteülevahtlikuks. Selleks, et ülevahtlikust säilitada on võimalik luua põhi VI failidest alam VI failid. Joonisel 2.35 on kujutatud antud lõputöö käigus koostatud VI faili plokkiagrammi pilt, kus alam VI faile ei ole kasutatud.



**Joonis 2.35.** Lõputöö käigus koostatud VI faili plokkiagrammi pilt ilma alam VI failideta.

Koostatud VI faili tähtsamatest funktsioonimoodulitest moodustati erinevad alam VI failid. Joonisel 2.36 on kujutatud antud lõputöö käigus koostatud VI faili plokkiagrammi pilt, kus on kasutatud alam VI faile.

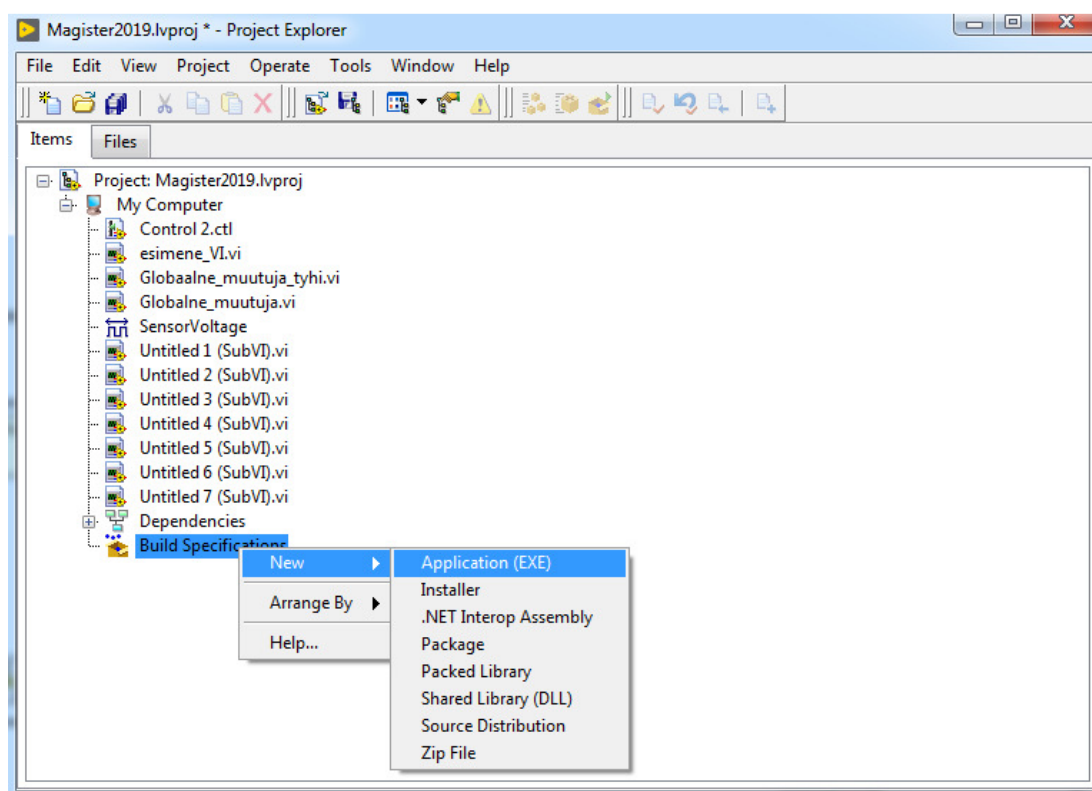


**Joonis 2.36.** Koostatud VI faili plokkiagrammi pilt, kus alam-moodulid on alam VI failides.



## 2.6.12. EXE faili loomine

Loodud VI failidest on võimalik luua iseseisvalt toimivad EXE fail ilma, et kasutaja peaks paigaldama arvutisse LabVIEW tarkvara. EXE faili loomisel ei lisata kõiki iseseisvaks toimimiseks vajalikke komponente, nagu näiteks sisend-väljundmooduli USB-6008 toimimiseks vajalik DAQmx Windowsi operatsioonisüsteemi draiver. Iseseisvaks toimimiseks vajalike komponentide lisamiseks tuleb luua ka installifail. Esimese sammuna tuleb luua projekt. Projekti aknasse tuleb lisada kõik vajalikud VI failid. Valides projekti aknas *Build Specification/New/Application (EXE)* luuakse EXE fail (joonis 2.37).



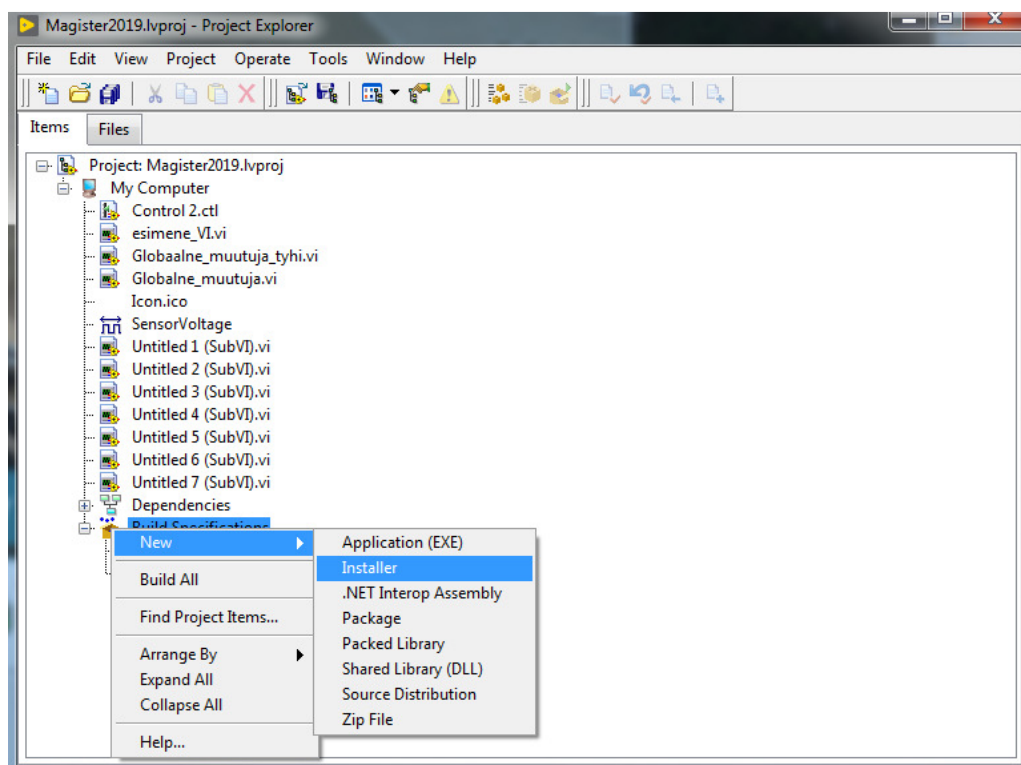
Joonis 2.37. Projekti aknas EXE faili loomise valik.

Loodud EXE fail salvestatakse eelmääratud kausta ja valitud kausta sisu on esitatud joonisel 2.38.

Nimi	Tüüp	Maht
data	Failikaust	
GIManalyser.aliases	ALIASES-fail	1 kB
GIManalyser	Rakendus	2 474 kB
GIManalyser	Konfiguratsioonis...	1 kB

**Joonis 2.38.** Edukalt loodud EXE faili projekti kaustas.

Installeerimise faili loomiseks tuleb projekti aknas valida *Build Specification/New/Installer* (joonis 2.39).



**Joonis 2.39.** Projekti aknas installeerimise faili loomise valik.

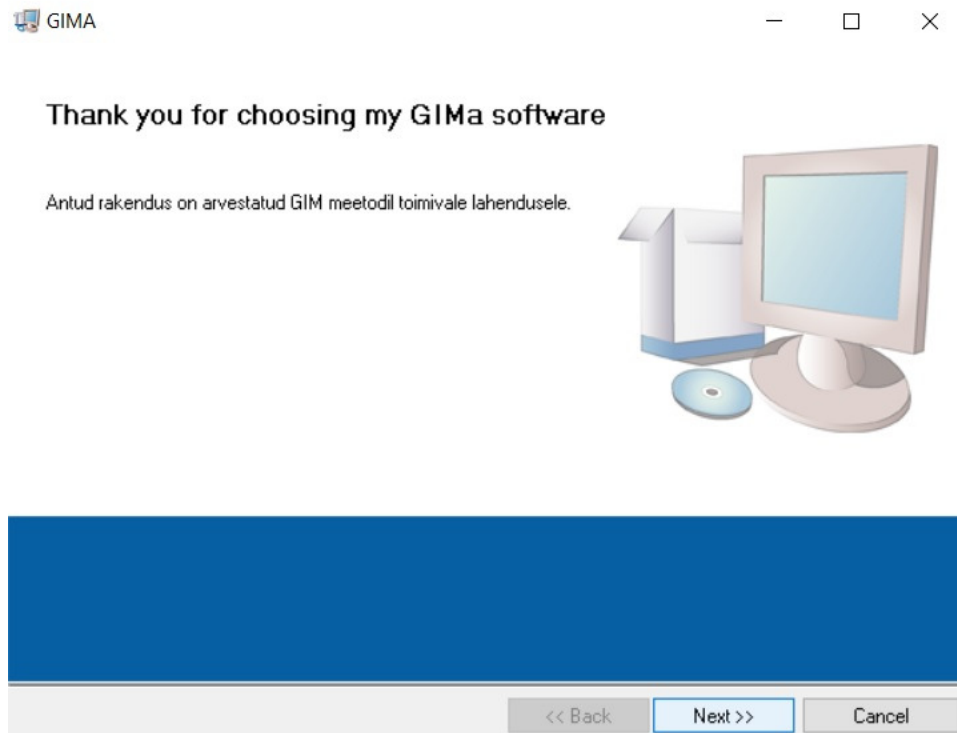
Loodud installeerimise fail salvestatakse eelmääratud kausta ja valitud kasuta sisu on esitatud joonisel 2.40.



Nimi	Tüüp	Maht
bin	Failikaust	
license	Failikaust	
supportfiles	Failikaust	
install	Rakendus	1 429 kB
install	Konfiguratsioonis...	33 kB
nidist.id	ID-fail	1 kB

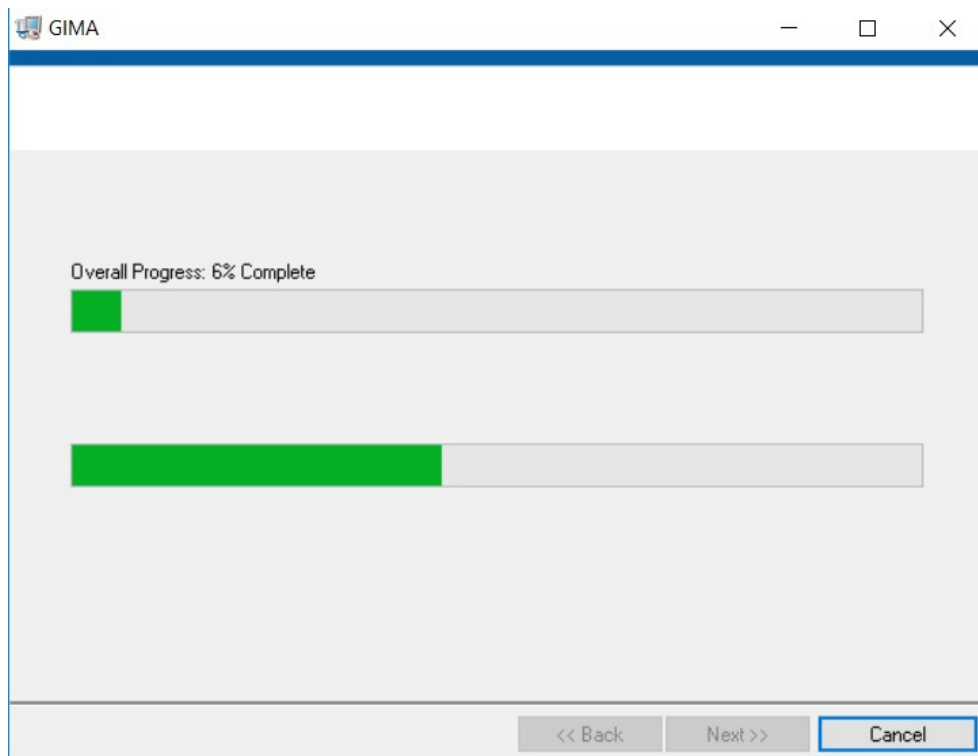
**Joonis 2.40.** Edukalt loodud installeerimise fail projekti kaustas.

Installeerimise faili käivitamisel alustatakse vajalike failide paigaldamist arvutisse. Paigaldus liidese avakuva on näidatud joonisel 2.41.



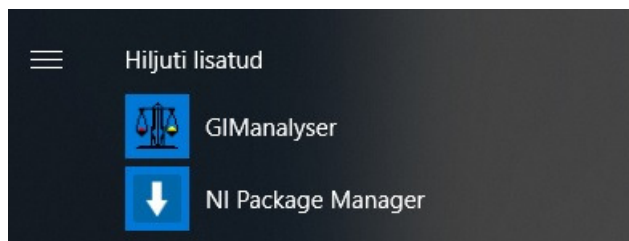
**Joonis 2.41.** Loodud tarkvaralahenduse paigaldamise akna avakuva.

Sõltuvalt arvuti riistvara spetsifikatsioonist võib tarkvara tööks vajalike failide paigaldus võtta aega 2-5 minutit,. Joonisel 2.42 on esitatud paigaldusprotsessi avakuva pilt.



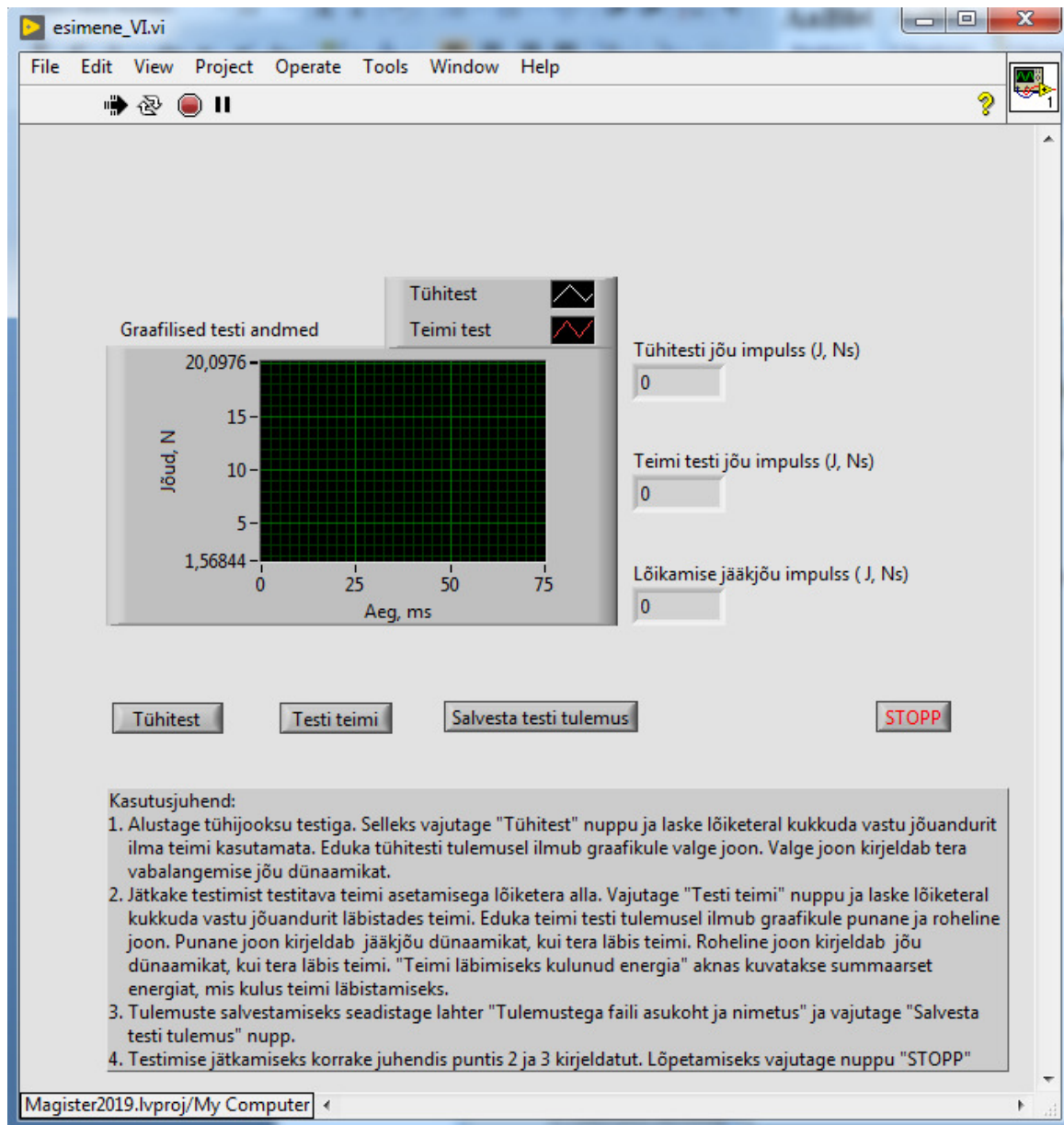
**Joonis 2.42.** Loodud tarkvaralahenduse paigalduse protsessi akna avakuva.

Eduka tarkvara paigaldamise tulemusena asub kasutaja arvutis startmenüüs paigaldatud tarkvara *GIManalyser.exe* käivitamise ikoon (joonis 2.43).



**Joonis 2.43.** Arvuti Startmenüüs asuv tarkvara ikoon.

Isetoimiva *GIManalyser* tarkvara käivitamisel avaneb järgmise vaatega kasutaja liides (joonis 2.44).



Joonis 2.44. Töötava *GIMANALYSER.exe* tarkvara kuvapilt.

## 3. MÕÕTMISED

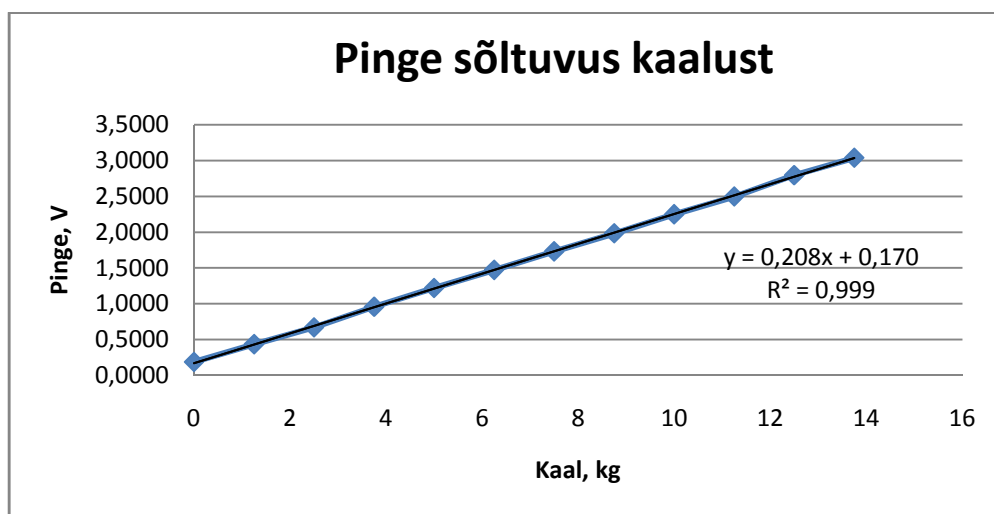
### 3.1. Tunnusjoone määramine

Jõusensori pingest sõltuvuse kaalust tunnusjoone leidmiseks sooritati 12 katset etalon raskustega. Etalon raskusteks valiti 1,25kg ja 2,5kg raskused. Tabelis 3.1 on näidatud LabVIEW tarkvaraga mõõdetud pingeväärtused, mis vastasid sensorile asetatud etalon raskustele.

**Tabelis 3.1** LabVIEW tarkvarga mõõdetud pinge väärtused vastavalt etalon raskustele

Mass, kg	Pinge, V
0	0,1860
1,25	0,4335
2,50	0,6675
3,75	0,9549
5,00	1,2181
6,25	1,4709
7,50	1,7290
8,75	1,9820
10,00	2,2470
11,25	2,4964
12,50	2,7928
13,75	3,0358

Mõõdetud tulemused sisestati *Microsoft Excel* tabelisse ja *Excel*'i keskkonnas kasutati tunnusjoone leidmiseks trendijooone funktsiooni. Saadud tulemus on esitatud joonisel 3.1.



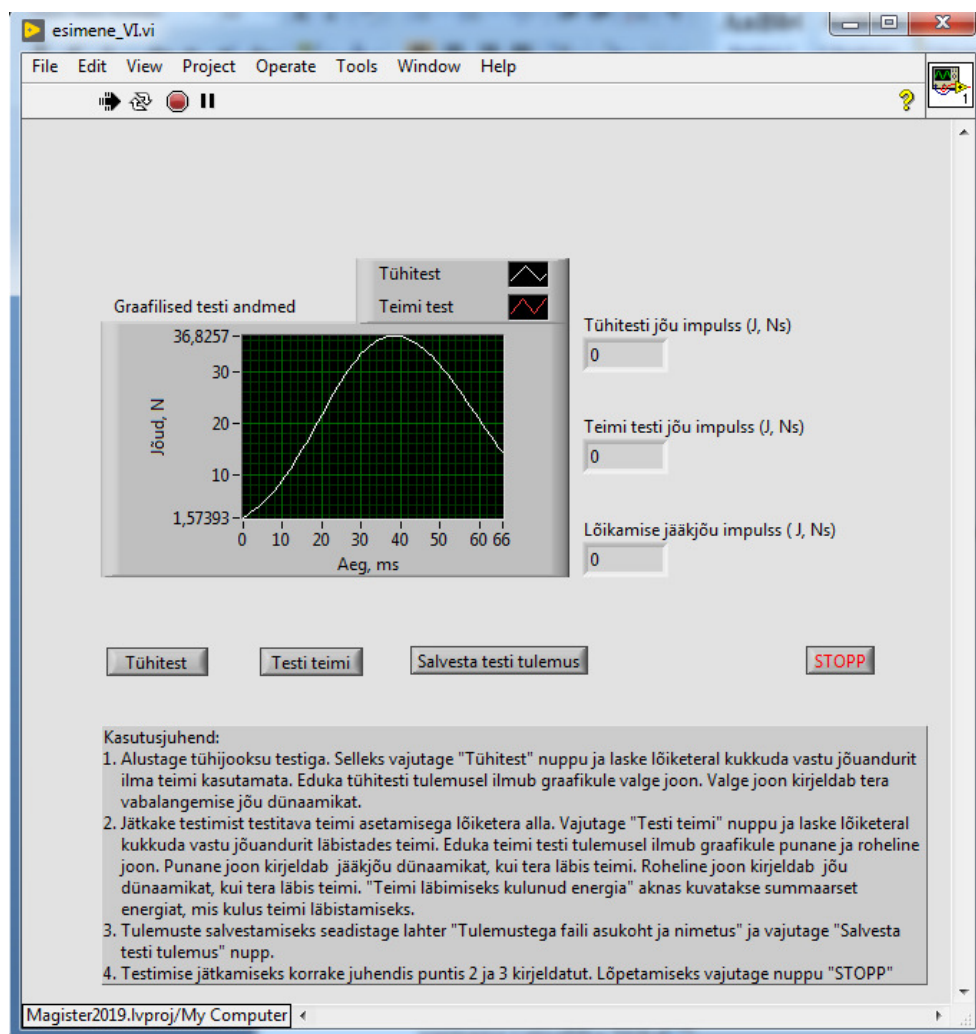
**Joonis 3.1.** Jõusensori signaalpinge sõltuvus kaalust koos tunnusjoonega.

*Excel*'i keskkonnas trendijooone funktsiooni abil leitud tunnusjoone  $y = 0,208x + 0,170$  järgi langevad 99,9% mõõtepunktidest tunnusjoonele. Saadud tunnusjoone kasutamist visuaaltarkvara loomisel kirjeldatakse alajaotises 3.5.5.

### 3.2. Loodud liha lõiketugevuse analüsaatori juhtkontrolleri testimine

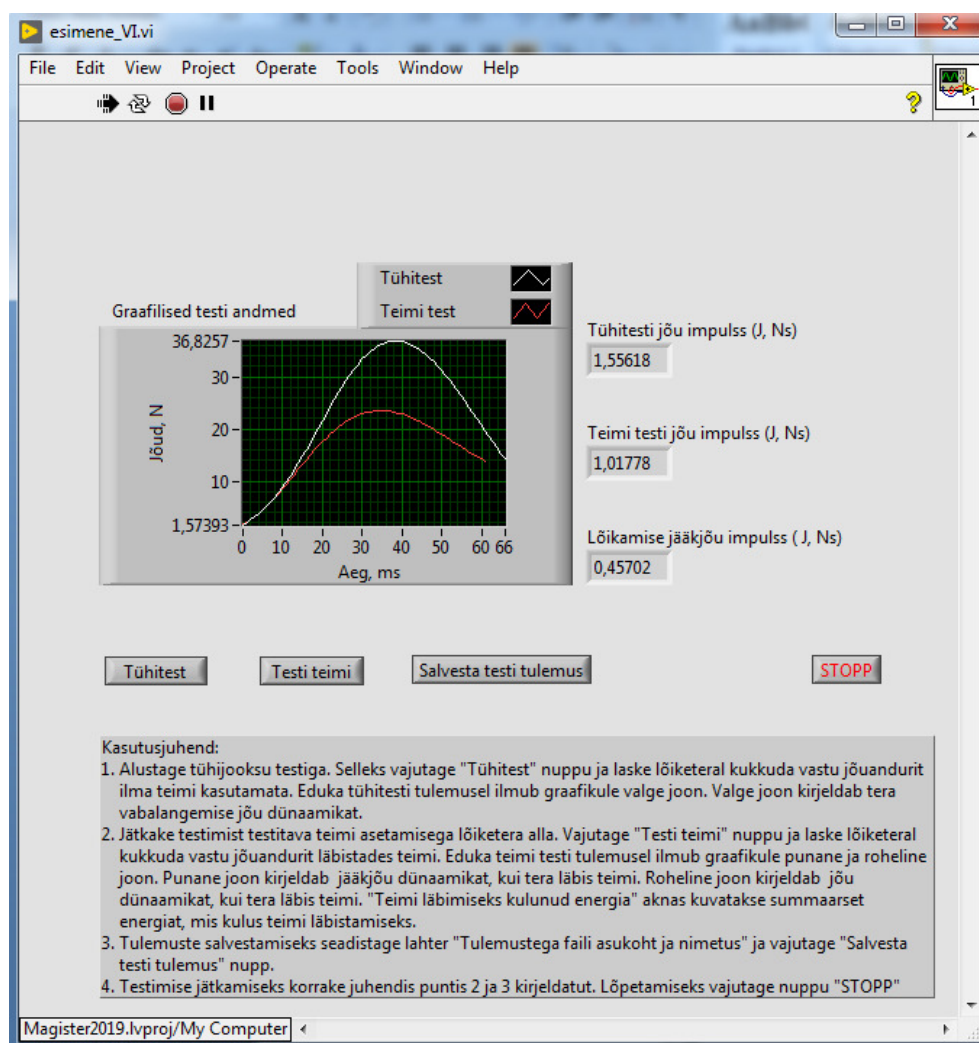
Tarkvara testimiseks paigaldati loodud tarkvara (*EXE* fail) *Windows*'i operatsioonisüsteemiga arvutisse, kus eelnevalt ei olnud paigaldatud *LabVIEW* tarkvara. Arvuti ühendati *USB-6008* sisend väljundmooduliga kasutades *USB* porti. Sisend-väljundmooduliga ühendati kaalu korpuses olev tenso andur. Mehaaniline osa ehitati olemas olevatest materjalidest ajutisena, kasutades raadiusega langevale hoidetalale kinnitatud tera. Tera raskus koos hoidetalaga oli 1,25kg.

Käivitatud tarkvara aknas vajutati "Tühitesti" nuppu ja lasti teral kukkuda 33cm kõrguselt jõuandurile. Testi tulemuseks ilmus kasutaja tarkvara ekraanile graafik registreeritud jõu andmetega ja arvutatud jõuimpulsi tulemusega. Joonisel 3.2 on näidatud kasutajaliidese ekraanikuva koos tühitesti andmetega.



Joonis 3.2. Kasutajaliidese ekraanikuva koos tühitesti andmetega.

Järgmisena asetati lõikealusele Karni toored grillvorstid "Minutivorstid", mille läbimõõt on sarnane veiseliha löiketugevuse mõõtmiseks ettenähtud test teimi mõõtmetega. Järgmise katse alustamiseks vajutati "Testi teimi" nuppu ja lasti teral kukkuda 30cm kõrguselt vastu test teimi. Teimi testi tulemuseks ilmus kasutajatarckvara ekraanile lisaks tühitesti graafikule ka Teimi testi graafik koos jõuimpulsi tulemusega. Lisaks kuvati ekraanil ka jääkjõuimpulss. Joonisel 3.3 on näidatud kasutajaliidese ekraanikuva koos Teimi testi andmetega.



**Joonis 3.3.** Kasutajaliidese ekraanikuva koos tühitesti ja teimi testi andmetega.

Tulemuste salvestamiseks vajutati "Salvesta Testi tulemused" nupule ja määrati salvestatava faili nimi ja asukoht. Tulemuseks oli testiandmetega *Excel*'i fail määratud asukohas. Joonisel 3.4 on näidatud pildikuva *Excel*'i faili sisust.



	A	B	C	D	E	F
1	Untitled	Untitled 1	Untitled 2	Untitled 3	Untitled 4	
2	1,573925	1,725823	0,001574	0,001726	0,000152	
3	2,101027	2,185452	0,002101	0,002185	0,000084	
4	2,653057	2,695247	0,002653	0,002695	0,000042	
5	3,237008	3,256868	0,003237	0,003257	0,000002	
6	3,86137	3,870661	0,003861	0,003871	0,000009	
7	4,535214	4,535943	0,004535	0,004536	0,000001	
8	5,266953	5,251149	0,005267	0,005251	0,000016	
9	6,063178	6,013831	0,006063	0,006014	0,000049	
10	6,927927	6,82056	0,006928	0,006821	0,000107	
11	7,862596	7,666836	0,007863	0,007667	0,000196	
12	8,866365	8,547063	0,008866	0,008547	0,000319	
13	9,936787	9,454637	0,009937	0,009455	0,000482	
14	11,07022	10,38216	0,01107	0,010382	0,000688	
15	12,26205	11,32174	0,012262	0,011322	0,00094	
16	13,50666	12,26522	0,013507	0,012265	0,001241	
17	14,79743	13,20445	0,014797	0,013204	0,001593	
18	16,12668	14,1315	0,016127	0,014131	0,001995	
19	17,48576	15,03887	0,017486	0,015039	0,002447	
20	18,86522	15,9198	0,018865	0,01592	0,002945	
21	20,25508	16,76841	0,020255	0,016768	0,003487	

Joonis 3.4. Salvestatud andmetega *Exeli* faili pildikuva.

Loodud liha lõiketugevuse analüsaatori juhtkontrolleri lahendus toimis ja tarkvara töötas laitmatult. Saadud tulemus vastas ootustele.

## 4. Saadud tulemused ja arutelu

Antud magistritöö käigus pakub töö autor välja varasemates Eesti Maaülikooli teadustöodes kasutava giljotiini laadse mehaanilise osa asemel võimalust kasutada raadiusega langevat tera, mille hoidetala on ühest otsas kinnitatud. Välja pakutud lahendus võiks olla mehaaniliselt kulumiskindlam ja põhjustada väiksemaid mehaanikast tingitud mõõtmisvigu.

Oluline on märkida, et mehaanilise osa väljatöötamisel tuleb pöörata tähelepanu seadmega töötamise turvalisusele. Töö autor pakub välja turvalisuse suurendamiseks järgmised lahendused:

1) Turvakapi ehitamine seadme mehaanilise osa ümber koos teimi sisestamiseks ning hooldamiseks eraldi avatava uksega. Ukse avamisel peaks tera langemise teele liikuma mehaaniline tõkis.

2) Tera langemise päästik võiks olla seotud kasutatava sisend väljund mooduli ja tarkvaraga. Testi alustatakse hiire või klaviatuuri käsuga, mis vabastab löiketera hoidva tõkise kasutades sisend-väljundmooduli väljundit. Kapi ukse ja löiketera asendi kontrolliks tuleks lisada asendi lülitid. Kui turvakapi uks on avatud või tera ei ole tõstetud õigele kõrgusele, siis tarkvara teavitab sellest kasutajat ja testi ei käivitata.

Analüsaatori jõusensorina valiti kasutamiseks sildühenduses nelja takistiga pingejaguriga tensoandur. Valik tehti kuna tensoandur on täpne, deformatsioonikindel ja kaaludes laialdaselt kasutatav anduritüüp. Testides toimis tensoandur stabiilselt ja löökidest tingitud deformatsioone ei täheldatud.

Kuna tesonanduri väljundsignaal ei ole valitud sisend-väljundmooduli jaoks piisav, siis kasutati sensori signaali võimendamiseks analoogsignaali võimendit. Signaali võimendi vajab eraldi toidet, mis lahendati üldkasutatava 12V 1A impulsstoiteploki abil.

Võimendatud signaali digitaliseerimiseks ja arvutitarkvarale arusaadavaks tegemiseks valiti universaalne firma *National Instruments (NI)* poolt toodetud sisend-väljundmoodul *USB-6008*. Antud seade valiti kuna tegemist on universaalse ja kvaliteetse tootega, mille soetushind on seadme kvaliteedi ja funktsionaalsuse väärtus.

Kuna valitud sisend-väljundmooduli jaoks on olemas *WINDOWS*´i operatsioonisüsteemide jaoks seadmedraiver ja antud seadmega ühildub sama tootja (*TI*) poolt loodud visuaalne programmeerimise keskkond *LabVIEW* , siis kasutati *LabVIEW* tarkvara analüüsi ja kasutajatarkvara loomiseks. Loodud tarkvarale tehti iseinstalleeruv *EXE* fail, et tarkvara oleks võimalik kasutajal ilma eriteadmisteta lihtsalt arvutisse paigaldada ja kasutada.

Loodud analüsaatori kontrolleri testid näitasid, et lahendus on kasutatav ja edasiarendatav, kui lahenduse juurde luua läbimõeldud ja täpne mehaaniline osa.



## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö käigus töötati välja gravitatsioonilise impulssmeetodiga liha löiketugevuse analüsaatori juhtkontroller. Väljatöötatud juhtkontroller koosneb gravitatsioonilisel impulssmeetodil langeva löiketera jõudu mõõtvast andurist, anduri analoogsignaali võimendist, võimendatud signaali digitaalseks ja arvuti tarkvarale arusaadavaks tegevast sisend-väljundmoodulist, mõõtmistulemusi analüüsivast ning tulemuste kasutajaliidesele kuvavast tarkvarast.

Töös kirjeldati maailmas üldtuntud liha löiketugevuse määramise lahendusi, antakse ülevaade varasematest gravitatsioonilise impulssmeetodiga lihatoodete löiketugevuse määramist puudutavatest teadustöödest. Valitakse ja põhjendatakse analüsaatori komponentide valikut. Koostati testi mõõtmise andmeid analüüsiv ja kasutajaliidesele testi tulemusena arvutatud jääkimpulssi kuvav tarkvara. Tarkvarale loodi iseinstalleeruv *EXE* fail. Testiti loodud analüsaatori kontrolleri lahendust. Analüüsiti tulemusi ja anti soovitusi tulevaste lahenduste parendamiseks.

Loodud analüsaatori kontrolleri lahenduses kasutatud tehases toodetud riistavara on konkurentsi võimelise maksumusega, töökindlad ja omavad standardseid liideseid. Arendatud tarkvara saab kasutada Windowsi operatsioonisüsteeme kasutavates arvutites. Tarkvara paigaldus ja kasutajaliides on kasutajale lihtsad ning mugavad kasutada. Läbiviidud testimise andmeid saab kasutaja soovi korral salvestada edasiseks analüüsimiseks.

## KIRJANDUS

1. **Tänavots A.** (2019). Liha kvaliteet. Sensoorsed näitajad. Liha õrnus. [Veebileht] [http://www.eau.ee/~alo/liha/kvaliteet/?Sensoorsed\\_n%C3%A4itajad](http://www.eau.ee/~alo/liha/kvaliteet/?Sensoorsed_n%C3%A4itajad) (15.05.2019) [1]
2. Arke Lihatööstus AS. Eesti Rohumaaveis. Laagerdamine. <https://www.karni.ee/eesti-rohumaaveis/laagerdamine/> (15.05.2019) [2]
3. **Sarapuu R.** (2014). Gravitatsioonilisel impulssmeetodil (GIM) töötava liha lõiketugevuse analüsaatori juhtkontrolleri väljatöötamine. Diplomitöö. Trt: EMU. 57 lk. <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/1871> (15.05.2019) [3]
4. **Shackelford S. D., Wheeler T. L.** (2009). Beef Facts Product Enhancement Research. Cattlemen's Beef Board and National Cattlemen's Beef Association. 8 lk <https://www.beefresearch.org/CMDocs/BeefResearch/Slice%20Shear%20Force.pdf> (15.05.2019) [4]
5. **Wheeler T. L., Shackelford S. D., Koohmaraie M.** Warner-Bratzler Shear Force Protocol. USDA-ARS U.S. Meat Animal Research Center. 16 lk. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30400510/protocols/Warner-BratzlerShearForceProtocol.pdf> (15.05.2019) [5]
6. Eesti Patendileht. (11.2015). Eesti: Eesti Patendiamet. 66 lk. [http://www.eau.ee/~alo/userfiles/downloads/patendileht2015\\_11.pdf](http://www.eau.ee/~alo/userfiles/downloads/patendileht2015_11.pdf) (15.05.2019) [6]
7. Petenditaotlus. (23.04.2014). Eesti Patendiamet. <https://www1.epa.ee/patent/andmed.asp?NroParam=P201400011&ID=X553906&NID=&offset=&HKR=> (15.05.2019) [7]
8. **Põldvere A., Lepasalu L., Tänavots A., Olt J., Sannik U., Sats A., Saar R., Martinson R., Poikalainen V.** (2014). An alternative method for meat shear energy estimation during ageing. Agronomy Research Volume 12, number 3. lk 793-800. [https://www.researchgate.net/publication/265794555\\_An\\_alternative\\_method\\_for\\_meat\\_shear\\_energy\\_estimation\\_during\\_ageing](https://www.researchgate.net/publication/265794555_An_alternative_method_for_meat_shear_energy_estimation_during_ageing) (15.05.2019) [8]
9. National Instruments. Shop. What Is Data Acquisition?. <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/> (15.05.2019) [9]
10. Allegro Archiwum. [Veebileht] <https://archiwum.allegro.pl/oferta/waga-sklepowa-elektroniczna-maxon-mx-1040-i7915655075.html> (15.05.2019) [10]
11. **Moorast A.** (2014). Tensoandurite signaalide mõõtmise seade. Bakalaureuse töö. Tln: TTÜ. 34lk. <https://digi.lib.ttu.ee/i/?1370> (15.05.2019) [11]

12. AliExpress. Weighing sensor transmitter amplifier module. [Veebileht]  
<https://www.aliexpress.com/item/32777244330.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.44264c4dCVeoSA> (15.05.2019) [12]
13. National Instruments. USB-6008 Multifunction I/O Device. [Veebileht]  
<http://www.ni.com/en-us/support/model.usb-6008.html> (15.05.2019) [13]
14. National Instruments. USB-6008 Specification <http://www.ni.com/pdf/manuals/375295c.pdf>  
(15.05.2019) [14]
15. National Instruments. LabVIEW Getting Started with LabVIEW . lk 89lk.  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/373427j.pdf> (15.05.2019) [15]
16. ScienceDirect. Learn more about Newton's Second Law.  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/newtons-second-law> (15.05.2019) [16]
17. Advanced Instructional Systems, Inc. and North Carolina State University Impulse.  
Momentum, and Energy – Concepts.  
[https://www.webassign.net/question\\_assets/ncsucalcphysmechl3/lab\\_6\\_1/manual.html](https://www.webassign.net/question_assets/ncsucalcphysmechl3/lab_6_1/manual.html)  
(15.05.2019) [17]

**LISAD**

## Lisa 1. Analüsaatori testi andmed salvestatud *Excel* i failist

Tühitest, N	Teimi test, N	Tühitesti impulss, N·s	Teimi testi impulss, N·s	Jääkjõu impulss, N·s
1,573925	1,725823	0,001574	0,001726	0,000152
2,101027	2,185452	0,002101	0,002185	0,000084
2,653057	2,695247	0,002653	0,002695	0,000042
3,237008	3,256868	0,003237	0,003257	0,00002
3,86137	3,870661	0,003861	0,003871	0,000009
4,535214	4,535943	0,004535	0,004536	0,000001
5,266953	5,251149	0,005267	0,005251	0,000016
6,063178	6,013831	0,006063	0,006014	0,000049
6,927927	6,82056	0,006928	0,006821	0,000107
7,862596	7,666836	0,007863	0,007667	0,000196
8,866365	8,547063	0,008866	0,008547	0,000319
9,936787	9,454637	0,009937	0,009455	0,000482
11,070224	10,382164	0,01107	0,010382	0,000688
12,26205	11,321739	0,012262	0,011322	0,00094
13,506659	12,26522	0,013507	0,012265	0,001241
14,797427	13,204452	0,014797	0,013204	0,001593
16,126681	14,131498	0,016127	0,014131	0,001995
17,485762	15,038872	0,017486	0,015039	0,002447
18,865217	15,919803	0,018865	0,01592	0,002945
20,255078	16,768414	0,020255	0,016768	0,003487
21,645128	17,579759	0,021645	0,01758	0,004065
23,025069	18,349718	0,023025	0,01835	0,004675
24,384597	19,074796	0,024385	0,019075	0,00531
25,713468	19,751945	0,025713	0,019752	0,005962
27,001647	20,378424	0,027002	0,020378	0,006623
28,239506	20,951741	0,02824	0,020952	0,007288
29,418027	21,469648	0,029418	0,02147	0,007948
30,528929	21,930231	0,030529	0,02193	0,008599
31,564727	22,33206	0,031565	0,022332	0,009233
32,518799	22,674372	0,032519	0,022674	0,009844
33,385464	22,957177	0,033385	0,022957	0,010428
34,160083	23,181227	0,03416	0,023181	0,010979
34,83911	23,347867	0,034839	0,023348	0,011491
35,420059	23,45885	0,03542	0,023459	0,011961
35,901388	23,516168	0,035901	0,023516	0,012385
36,282363	23,521923	0,036282	0,023522	0,01276
36,562933	23,478236	0,036563	0,023478	0,013085

## Lisa 1 järg.

Tühitest, N	Teimi test, N	Tühitesti impulss, N·s	Teimi testi impulss, N·s	Jääkjõu impulss, N·s
36,743658	23,387209	0,036744	0,023387	0,013356
36,825683	23,250943	0,036826	0,023251	0,013575
36,810752	23,071591	0,036811	0,023072	0,013739
36,70123	22,8514	0,036701	0,022851	0,01385
36,50008	22,592714	0,0365	0,022593	0,013907
36,210779	22,297952	0,036211	0,022298	0,013913
35,837154	21,969602	0,035837	0,02197	0,013868
35,383203	21,610256	0,035383	0,02161	0,013773
34,852964	21,222657	0,034853	0,021223	0,01363
34,250477	20,809706	0,03425	0,02081	0,013441
33,579825	20,374428	0,03358	0,020374	0,013205
32,845201	19,919951	0,032845	0,01992	0,012925
32,050959	19,449522	0,032051	0,01945	0,012601
31,20165	18,966575	0,031202	0,018967	0,012235
30,302067	18,474757	0,030302	0,018475	0,011827
29,357285	17,977904	0,029357	0,017978	0,011379
28,372658	17,479947	0,028373	0,01748	0,010893
27,353716	16,984822	0,027354	0,016985	0,010369
26,305958	16,496426	0,026306	0,016496	0,00981
25,234663	16,018614	0,025235	0,016019	0,009216
24,144794	15,555209	0,024145	0,015555	0,00859
23,041029	15,109984	0,023041	0,01511	0,007931
21,927887	14,686616	0,021928	0,014687	0,007241
20,809844	14,288631	0,02081	0,014289	0,006521
19,691418	13,919326	0,019691	0,013919	0,005772
18,577223		0,018577		
17,472001		0,017472		
16,380585		0,016381		
15,307776		0,015308		
14,258151		0,014258		

## Lisa 2. Lihtlitsents

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Allan Tooming  
sünniaeg 27.01.1974

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

**Materjalide lõiketugevuse analüsaatori juhtkontroller**

mille juhendaja on Eugen Kokin

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, 27.05.2019

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)